

Aus dem Institut für Bakteriologie und Histologie
der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach
und

aus der Fachrichtung Fleischhygiene des Instituts
für Lebensmittelhygiene, Fleischhygiene und -tech-
nologie des Fachbereiches Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin

**Versuche zur Ermittlung der Oberflächenwasser-
aktivität (a_w -Wert) von Schlachtierkörpern und
Fleisch und zur Beeinflussung der a_w - und pH-Werte
der Fleischoberfläche**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades
eines

Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Klaus Krispien

Tierarzt aus Hackenheim

Berlin 1978

Journal Nr. 948

Aus dem Institut für Bakteriologie und Histologie
der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach
und

aus der Fachrichtung Fleischhygiene des Instituts
für Lebensmittelhygiene, Fleischhygiene und -tech-
nologie des Fachbereiches Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin

**Versuche zur Ermittlung der Oberflächenwasser-
aktivität (a_w -Wert) von Schlachttierkörpern und
Fleisch und zur Beeinflussung der a_w - und pH-Werte
der Fleischoberfläche**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades
eines

Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Klaus Krispien

Tierarzt aus Hackenheim

Berlin 1978

Journal Nr. 948

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender des FBR:

Prof. Dr. H.-H. Frey

Referent:

Prof. Dr. G. Reuter

Korreferent:

Prof. Dr. H.-J. Risse

Tag der Promotion:

23. Oktober 1978



Meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026





INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <u>EINLEITUNG</u>	3
2. <u>SCHRIFTTUM</u>	4
2.1 Bedeutung der Fleischoberfläche für den Fleisch- verderb	4
2.2 Physikalischer Zustand der Fleischoberfläche	5
2.2.1 Temperatur des Fleisches	6
2.2.2 pH-Wert des Fleisches	7
2.2.3 a_w -Wert des Fleisches	8
2.2.3.1 Definition des a_w -Wertes	8
2.2.3.2 Messung des a_w -Wertes	10
2.2.3.3 a_w -Wert des Fleisches post mortem	12
2.2.3.4 a_w -Wert und Taupunkt	13
2.2.3.5 a_w -Wert und Abtrocknung	14
2.2.3.6 a_w -Wert und Temperatur	19
2.3 Einfluß physikalischer Parameter der Fleischober- fläche auf Mikroorganismen	19
2.3.1 Temperatur und Mikroorganismen	20
2.3.2 pH-Wert und Mikroorganismen	21
2.3.3 a_w -Wert und Mikroorganismen	23
3. <u>EIGENE UNTERSUCHUNGEN</u>	25
3.1 Material	25
3.1.1 Praxisversuche	26
3.1.1.1 Tierkörper und Kühlraum	26
3.1.1.2 Meßgeräte	28
3.1.2 Modellversuche	29
3.1.2.1 Gewebeproben und Klimaschrank	29
3.1.2.2 Meßgeräte	30
3.1.3 Oberflächen-Beeinflussung	30
3.1.3.1 Lösungen und Gewebeproben	31
3.1.3.2 Meßgeräte	31
3.2 Methodik	31
3.2.1 Meßanordnung beim Fleisch	31
3.2.2 Behandlung der Fleischoberfläche	32
3.2.3 Einsatz der Meßgeräte	33
3.2.3.1 Relative Luftfeuchtigkeit	33
3.2.3.2 Luftbewegung	33
3.2.3.3 Temperatur	34
3.2.3.4 pH-Wert	34
3.2.3.5 a_w -Wert	35

	Seite
3.3 Ergebnisse	37
3.3.1 Entwicklung einer Meßanordnung zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch	37
3.3.1.1 Vorversuche	37
3.3.1.2 Geräteentwicklung	38
3.3.1.3 Standardmessungen	43
3.3.1.4 Hauptversuche	48
3.3.2 Ergebnisse des Praxisversuches	50
3.3.2.1 Klima des Kühlraumes	50
3.3.2.2 Temperatur, pH-Wert und a_w -Wert der Fleischober- fläche	53
3.3.3 Ergebnisse der Modellversuche	60
3.3.3.1 Klima des Prüfraumes	60
3.3.3.2 Temperatur, pH-Wert und a_w -Wert der Oberflächen von Proben	60
3.3.4 Ergebnisse der Oberflächen-Beeinflussung	64
3.3.4.1 Beeinflussung des oberflächlichen pH-Wertes	64
3.3.4.2 Beeinflussung des oberflächlichen a_w -Wertes	66
4. <u>BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE</u>	69
4.1 Methode zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch	69
4.2 Klimabedingungen im Kühlraum und physikalische Parameter der Fleischoberfläche	72
4.3 Klimabedingungen und physikalische Parameter der Fleischoberfläche im Modell	75
4.4 a_w -Wert und pH-Wert einer behandelten Fleischober- fläche im Modell	77
4.5 Mikrobiologische Bedeutung der ermittelten physi- kalischen Parameter der unbehandelten und behan- delten Fleischoberfläche	78
5. <u>SCHLUSSFOLGERUNGEN</u>	81
6. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	83
7. <u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	86
8. <u>ANHANG</u>	101

1. EINLEITUNG

Das Wachstum von Mikroorganismen auf der Oberfläche von Schlacht-
tierkörpern und damit die Haltbarkeit des Fleisches wird bestimmt
durch die Temperatur, den a_w -Wert und den pH-Wert der Fleischober-
fläche. Während die Temperatur der Kühlräume und der pH-Wert des
Fleisches seit langem beachtet und in ihrer Bedeutung für die Halt-
barkeit des Fleisches bekannt sind, trifft das für die Wasserakti-
vität (a_w -Wert) nicht zu. Zwar wird der relativen Luftfeuchtigkeit,
die den oberflächlichen a_w -Wert des Fleisches zweifellos beein-
flußt, seit langem Beachtung zuteil, aber der a_w -Wert der Fleisch-
oberfläche konnte aufgrund fehlender Meßmethoden bisher noch nicht
ermittelt werden.

Daher sollte eine Methode entwickelt werden, mit der es möglich ist,
den a_w -Wert von Fleischoberflächen sowie auch von anderen Lebens-
mitteln zu messen. Mit dieser Methode sollte der a_w -Wert und des-
sen Veränderung insbesondere während der Kühllagerung von Rind-
und Schweinefleisch unter Praxisbedingungen und in Modellversuchen,
ermittelt und verfolgt werden. In einer zweiten Stufe der Untersu-
chungen sollte sodann geprüft werden, inwieweit der Oberflächen-
 a_w -Wert von Fleisch in Kombination mit dem pH-Wert durch Behand-
lung der Fleischoberfläche mit einer Lösung aus Genußsäuren und
Kochsalz beeinflußt werden kann

2. SCHRIFTTUM

2.1 Bedeutung der Fleischoberfläche für den Fleischverderb

Als neuralgischer Punkt in der Hygienekette von der Fleischgewinnung bis zur Verarbeitung des leicht verderblichen Rohstoffes Fleisch gilt die Verunreinigung der Oberflächen der Schlachttierkörper oder Tierkörperteile durch Mikroorganismen bei oder nach dem Schlachtprozeß. Der hygienische Status der Fleischoberfläche ist besonders aktuell, nachdem die immer stärker werdende industrielle Fleischverarbeitung zwangsläufig den Weg des Fleisches von der Gewinnung bis zu seiner Umsetzung in Fleischerzeugnisse verlängert (HESS und LOTT, 1970).

Mikroorganismen, die beim Schlachtvorgang auf die Fleischoberfläche gelangen, finden dort sowohl vom Nährstoffangebot als auch vom physikalischen Zustand der oberflächlichen Gewebe her günstige Wachstumsbedingungen vor (SCHWARTZ und KAEISS, 1934). Die Vermehrung von Mikroorganismen auf der Fleischoberfläche hat nicht nur Bedeutung für die Lagerfähigkeit und das frische Aussehen der Oberfläche, sondern kann entscheidend das Gelingen von Fleischerzeugnissen beeinflussen. Die mikrobiologische Qualität des fertigen Produktes kann nur zufriedenstellend sein, wenn das Rohmaterial den bestmöglichen mikrobiologischen Standard aufweist (MOSSEL, 1977).

Bei einer Kühllagerung von frischem Fleisch nahe 0 °C vermehren sich Mikroorganismen fast nur auf der Oberfläche, und der Verderb wird vornehmlich durch gramnegative Bakterien verursacht. Erreicht die Keimzahl 10^7 pro cm^2 Oberfläche, dann treten Geruchsabweichungen auf, ab $10^8/\text{cm}^2$ kommt es zu einer Schleimbildung und damit zur Unbrauchbarkeit des Rohstoffes Fleisch (INGRAM und DAINITY, 1971).

Für die Annahme, frisches Fleisch von gesunden Tieren sei unter der unversehrten Fleischoberfläche praktisch keimfrei, ist Voraussetzung, daß Mikroorganismen nicht von der Oberfläche während der Kühllagerung

in tiefere Fleischpartien durch direktes Wachstum in das Muskelgewebe gelangen oder durch Wachstum entlang bindegewebiger Gewebsstränge zwischen die Muskelgruppen eindringen können. HOAGLAND und Mitarb. (1971) stellen fest, daß Bakterien und Schimmelpilze nicht oder doch weniger als 2,5 cm (1 inch) in tiefere Schichten eindringen. Nach GILL und PENNEY (1977) können zwar proteolytische Mikroorganismen durch Zersetzung des Endomysiums zwischen den Muskelfasern in tiefere Schichten gelangen, jedoch ist bei Kühltemperaturen nur mit geringem (Pseudomonas fluorescens) oder mit keinem Eindringen (Salmonella) zu rechnen.

Der physikalische Zustand (der übliche a_w -Wert und pH-Wert) frisch erschlachteter Tierkörper macht zur Kontrolle des Oberflächenverderbs die Kühl Lagerung erforderlich, die jedoch wegen der Entwicklungsmöglichkeit psychrotropher Lebensmittelverderber nicht wesentlich länger als 14 Tage dauern kann (MOSSEL, 1977).

Folglich entscheiden neben der Anfangskeimbelastung der a_w -Wert, der pH-Wert und die Temperatur der Schlachttierkörper-Oberfläche die Haltbarkeit des Fleisches.

2.2 Physikalischer Zustand der Fleischoberfläche

Beim lebenden Tier liegen die Temperatur, der pH-Wert und der a_w -Wert des Fleisches in einem Bereich, der optimal für die Vermehrung zahlreicher Mikroorganismen ist. Gelangen nun während des Schlachtvorganges Mikroorganismen auf die Fleischoberfläche, finden sie optimale Vermehrungsbedingungen, zumal das Fleisch eine hervorragende Nährstoffquelle darstellt. Eine Lagerung des Frischfleisches wird nur möglich, indem die Temperatur, der pH-Wert und möglichst auch der a_w -Wert soweit erniedrigt werden, daß manche Mikroorganismen überhaupt nicht mehr und andere nur noch langsam vermehrungsfähig sind. Dabei kommt unter den gegenwärtigen Bedingungen der Fleischlagerung der Temperaturabsenkung eine überragende Bedeutung zu.

2.2.1 Temperatur des Fleisches

Sowohl bei Rindern als auch bei Schweinen ist bei gesunden Tieren eine Körpertemperatur von 38°C bis 39°C gegeben (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1965). Nach dem Enthäuten (Rinder) und dem Spalten (Schweine) kann mit einer Oberflächentemperatur von etwa 35°C (LANG, 1974) gerechnet werden. Die Körperinnentemperatur steigt nach dem Schlachten auf 40°C . Durch Verbringen der Schlachttierkörper in einen Kühlraum, also in eine niedrige Lufttemperatur, wird angestrebt, die Gewebetemperatur möglichst schnell und weit abzusenken. Üblich ist gegenwärtig die Forderung auf Einstellung einer Lufttemperatur, die die Oberflächentemperatur zwar in der Nähe des Gefrierbeginns des Fleisches hält, aber nicht unter den Gefrierpunkt von Fleisch sinken läßt (TAMM, 1974, 1976). Nach RÖDEL und KRISPIEN (1977) beginnt Fleisch ab $-1,2^{\circ}\text{C}$ zu gefrieren.

Allgemein gilt als Ziel, Fleisch mit einer Kerntemperatur von nicht höher als $+4^{\circ}\text{C}$ zu lagern. In welcher Abkühlzeit diese Temperatur erreicht werden kann, richtet sich nach dem Kühlverfahren. Bei der "Schnellkühlung" wird, mit einer Raumtemperatur von -1° bis $+1^{\circ}\text{C}$ und einer Luftgeschwindigkeit von 1 bis 4 m/sec, bei Schweinehälften eine Kerntemperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ nach 12 bis 16 Stunden und bei Rinderhälften nach 18 bis 24 Stunden erreicht (WIRTH und Mitarb., 1976). Bei der "Schnellstkühlung (Schockkühlung)" wird in zwei Stufen gekühlt, und zwar zunächst etwa 2 Stunden bei -5° bis -8°C bei einer Luftgeschwindigkeit von 1 bis 4 m/sec, sodann wird das Fleisch zur weiteren Abkühlung in eine Raumtemperatur von 0°C und eine Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec verbracht. In der ersten Stufe soll die Fleischoberfläche zwar schnell abkühlen, aber noch nicht gefrieren.

Durch die Schnellstkühlung wird eine Kerntemperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ bei Schweinehälften bereits nach 10 bis 14 Stunden und bei Rinderhälften nach 15 bis 20 Stunden erreicht (WIRTH und Mitarb., 1976). Es ist zu

berücksichtigen, daß eine zu schnelle Abkühlung der Schlachttierkörper zu zähem Fleisch führen kann. Das ist auf eine Kältekontraktion ("Cold shortening") der Muskelfasern zurückzuführen, die besonders bei Schafen, aber teilweise auch beim Rindfleisch auftreten kann, wenn die Kerntemperatur unter 10°C innerhalb von 4 bis 6 Stunden post mortem abgesenkt wird (WATT und HERRING, 1974).

In welcher Zeit die Oberflächentemperatur sich der Raumtemperatur annähert, wird durch die Art des Oberflächengewebes und das Volumen des darunterliegenden Gewebes beeinflußt. So erreicht die Oberfläche über dünneren Partien, z. B. am Nacken, die Raumtemperatur früher als die Oberfläche über dickeren Partien (SCOTT und VICKERY, 1939).

2.2.2 pH-Wert des Fleisches

Unmittelbar nach Eintritt des Todes liegt der pH-Wert der Muskulatur bei 7,0 bis 7,6, also nahe dem Neutralpunkt (BARTELS, 1968). Post mortem fällt der pH-Wert bei normaler Fleischreifung in 24 Stunden beim Schweinefleisch auf 5,6 bis 6,0 und beim Rindfleisch auf 5,4 bis 5,8 ab (KUPRIANOFF, 1952; KRYLOWA und LJASKOWSKAJA, 1972; WIRTH und Mitarb., 1976). Der pH-Abfall während der Fleischreifung ist vor allem, aber nicht ausschließlich, auf die Bildung von Milchsäure in der Muskulatur zurückzuführen (GRAU und GÜNTHER, 1962; HONIKEL und HAMM, 1974). Bei längerer Lagerung von Fleisch kann der pH-Wert wieder ansteigen, sogar über 6,0 (HARTH, 1936; DEBROT, 1952; GRAU, 1960). Die Veränderungen des oberflächlichen pH-Wertes des Fleisches während der Reifung und Lagerung, insbesondere unter Einfluß der Mikroorganismen, ist noch unzureichend untersucht worden.

Bei sog. PSE-Fleisch, das gegenwärtig bei etwa 20 bis 30 % der Schweine anzutreffen ist, fällt der pH-Wert innerhalb einer Stunde unter 5,8 ab; dagegen liegt beim DFD-Fleisch, das bei etwa 5 bis 10 % der Rinder und Schweine vorkommt, der pH-Wert nach 24 Stunden post mortem

noch über 6,0 beim Rind- und über 6,2 beim Schweinefleisch (BICKHARDT, 1972; WIRTH, 1972; SCHEPER, 1972, 1974, 1975a, 1975b; HEINZ, 1974; TARRANT, 1976; HONIKEL, 1976). Während PSE-Fleisch vor allem technologische Probleme bereitet (WIRTH, 1972), stehen beim DFD-Fleisch mikrobiologische Probleme im Vordergrund (BEM und Mitarb., 1976; REY und Mitarb., 1976).

2.2.3 a_w -Wert des Fleisches

Da die Wasseraktivität, insbesondere der a_w -Wert der Oberflächen von Schlacht tierkörpern, das zentrale Thema der vorliegenden Arbeit ist, wird das damit in Zusammenhang stehende Schrifttum ausführlicher behandelt.

2.2.3.1 Definition des a_w -wertes

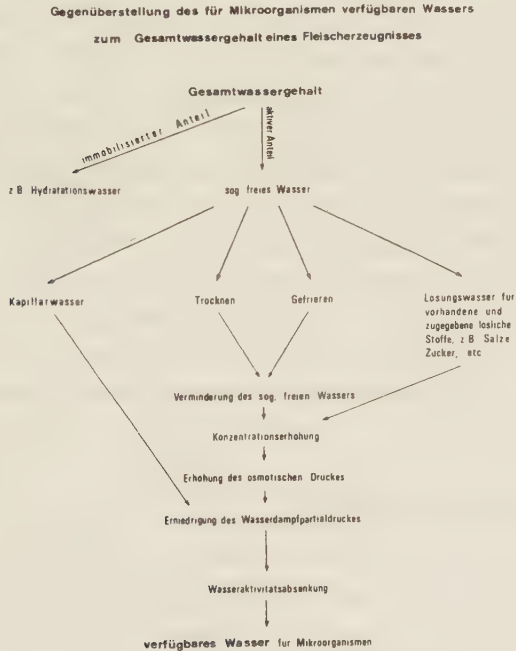
Der Wasseraktivitätswert, kurz a_w -Wert genannt, ist definiert als Quotient des vorliegenden Wasserdampfdruckes (p) zum maximal möglichen Wasserdampfdruck (p_s) bei der gleichen Temperatur und gilt als Maßzahl des für Mikroorganismen verfügbaren Wassers in Fleisch und Fleischerzeugnissen (SCOTT, 1953, 1957).

$$a_w = \frac{p}{p_s}$$

Vom Gesamtwassergehalt von Fleisch oder Fleischwaren steht den Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen für ihren Metabolismus und für die Vermehrung nur ein bestimmter Teil zur Verfügung, so daß eine Aussage über die mikrobiologische Situation dieser Lebensmittel nicht über den Gesamtwassergehalt, sondern nur über den a_w -Wert zu treffen ist. Die Ursache dafür liegt in einer teilweisen Immobilisierung des Gesamtwassers durch chemische Proteinwasserbindungen, wobei die Bindungsenergie der Eiweiß-Wasser-Verbindung je nach Entfernung der Wassermoleküle zu den hydrophilen Gruppen der Eiweißmoleküle von unterschiedlicher Intensität ist. Diesem gebundenen Wasser steht

das sog. freie Wasser, als aktiver Anteil des Gesamtwassers bezeichnet, gegenüber (Abbildung 1).

Abbildung 1: Gegenüberstellung des für Mikroorganismen verfügbaren Wassers zum Gesamtwassergehalt von Fleisch oder Fleisch-erzeugnissen (nach RÖDEL und KRISPIEN, 1977)



In diesem aktiven Anteil spielen sich sämtliche Vorgänge ab, die letztendlich zu einer Erniedrigung der Wasseraktivität führen können. Das in Kapillaren vorliegende Wasser erfährt u. a. durch die Wirkung der Kapillarkräfte eine Erniedrigung des Wasserdampfdruckes. Während durch die Zugabe von löslichen Substanzen, wie z. B. Salze oder Zucker, es zu einer Konzentrationserhöhung in der wäßrigen Phase eines Lebensmittels kommt, wird beim Trocknen über den Entzug von Wasser und beim Gefrieren durch Eiskristallbildung in beiden Fällen durch Verminderung

des sog. freien Wassers ebenfalls eine Konzentrationserhöhung in der wäßrigen Phase des Lebensmittels erzielt. Der dadurch erhöhte osmotische Druck erniedrigt den Wasserdampfdruck und die Folge ist eine Wasseraktivitätsabsenkung. Somit läßt der Wasseraktivitätswert eine konkrete Aussage über das vom Gesamtwassergehalt für Mikroorganismen verfügbare Wasser zu. Von verfügbarem Wasser für Mikroorganismen kann aber nur dann gesprochen werden, wenn es den Bakterien, Hefen oder Schimmelpilzen gelingt, durch eine größere "Saugkraft", d. h. einen noch höheren osmotischen Druck als in der wäßrigen Phase des Lebensmittels vorliegt, das für die Stoffwechselaktivität und für die Vermehrung notwendige Wasser aus dem Lebensmittel aufzunehmen (WALTER, 1926). Die verschiedenen Mikroorganismenarten besitzen unterschiedliche Saugkräfte, d. h. unterschiedliche Fähigkeiten, bestimmte osmotische Drucke im Lebensmittel zu überwinden. Da sich der osmotische Druck umgekehrt proportional zum a_w -Wert verhält, gibt es für jede Mikroorganismenart einen individuellen minimalen Wasseraktivitätswert, der eine Vermehrung nicht mehr zuläßt (LEISTNER und RÖDEL, 1976).

2.2.3.2 Messung des a_w -Wertes

Grundsätzlich kann man bei der Messung des a_w -Wertes zwischen Produktmessungen und Oberflächenmessungen unterscheiden; im ersteren Falle wird der a_w -Wert des Lebensmittels insgesamt und im zweiten Fall nur der a_w -Wert der Oberfläche des Lebensmittels bestimmt. Während über Produktmessungen im Zusammenhang mit Fleisch und Fleischerzeugnissen bereits zahlreiche Methoden und Ergebnisse vorliegen (VRCHLABSKÝ und LEISTNER, 1970; KARAN-DJURDJIĆ und LEISTNER, 1970; BEM und LEISTNER, 1970; LEISTNER und Mitarb., 1971; RÖDEL und LEISTNER, 1971; RÖDEL und LEISTNER, 1972; RÖDEL, 1973; RÖDEL, 1975; RÖDEL und Mitarb., 1975; KRISPIEN und RÖDEL, 1976; RÖDEL und KRISPIEN, 1977; RÖDEL und Mitarb., 1978), ist das für die Oberflächenmessung des a_w -Wertes nicht der Fall.

Der Versuch einer Messung des a_w -Wertes von Fleischoberflächen wurde von HICKS und Mitarb. (1954) unternommen. Dabei wurde jedoch nicht das "dynamische Meßprinzip" angewandt, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurde, sondern es wurden dünne Oberflächenschichten vom Schlachttierkörper des Schafes entnommen, von denen die Gleichgewichtsfeuchte mit der isopiastischen Methode zur Aufnahme von Sorptionsisothermen bestimmt worden ist. Es handelt sich dabei um eine gravimetrische Methode der Wasserdampf-Sorptionsmessung, die von ROBINSON und SINCLAIR (1934) entwickelt wurde. Das Prinzip der Messung besteht darin, daß die Probe mit einer Elektrolytlösung ins Wasserdampfdruck-Gleichgewicht gebracht wird. Die Probe hat den Wasserdampfdruck bzw. den a_w -Wert der Elektrolytlösung, bei der keine Gewichtsveränderung infolge Wasserdampfaufnahme oder Wasserdampfabgabe stattfindet. Dieses Verfahren der Ermittlung der Wasseraktivität ist prinzipiell vergleichbar mit der Methode, die von LANDROCK und PROCTOR (1951) beschrieben und von BEM und LEISTNER (1970) zur Bestimmung des a_w -Wertes von Fleisch und Fleischerzeugnissen angewendet wurde. Die von HICKS und Mitarb. (1954) mitgeteilten Ergebnisse über die a_w -Werte der Oberfläche vom Schlachttierkörper des Schafes, welcher 10 Tage bei + 3 °C und 84 bis 85 % relativer Feuchtigkeit gelagert wurde, werden in Tabelle 1 wiedergegeben. Diese Autoren folgern, daß Bindegewebe

Tabelle 1: Oberflächen- a_w -Wert vom Schlachttierkörper des Schafes nach 10 Tagen Lagerung bei + 3 °C und 84 bis 85 % relativer Luftfeuchtigkeit (HICKS und Mitarb., 1954)

Herkunft der Probe	a_w -Wert
Bindegewebe über Fett der Lende	0,862
Bindegewebe zwischen den Rippen	0,933
Bindegewebe über den Rippen	0,925
Hautmuskel des Rumpfes	0,906

über Fett das Feuchtgleichgewicht mit der Lagerraumluft fast erreicht, andere Teile der Oberfläche aber eine geringere a_w -Wert-Verminderung erfahren.

Die Vielfalt der Gewebearten an den Schlachttierkörper-Oberflächen, wie angeschnittene Muskulatur, durch eine dünne Bindegewebsschicht bedeckte Muskulatur, starke Bindegewebsplatten, an Fettgewebe reichen oder weniger mit Fettgewebe versehenen dicken Bindegewebspartien oder die Schwarte bei Schweinehälften lassen auf unterschiedliche a_w -Werte in den verschiedenen oberflächlichen Geweben während der Abkühlung und Kühl Lagerung der Tierkörper schließen (LOESER, 1935; HICKS und Mitarb., 1957). Nach HICKS und Mitarb. (1957) macht der Mangel an genauer Kenntnis des a_w -Wertes der unterschiedlichen Oberflächengewebe von Schlachttierkörpern eine Vorhersage der mikrobiologischen Folgen einer Abtrocknung, d. h. einer a_w -Wert-Verminderung, der Oberfläche schwierig.

2.2.3.3 a_w -Wert des Fleisches post mortem

Nach HEISS (1933) hat frisches Fleisch unmittelbar nach der Schlachtung einen a_w -Wert von 0,993. Auch SCHWARTZ und LOESER (1934/35) nehmen den a_w -Wert des frischen Fleisches mit 0,993 an und weisen darauf hin, daß die relative Luftfeuchtigkeit des Lagerraumes 99,3 % betragen muß, wenn Gewichtsverluste während der Lagerung völlig ausgeschlossen werden sollen. Auch SCOTT (1936, 1937, 1938) nennt als a_w -Wert von frischem Fleisch 0,993. SCOTT und VICKERY (1939) stellen fest, daß der a_w -Wert 0,993 von frischem Rindfleisch an der Oberfläche dem der inneren Muskelpartien entspricht. Nach TUCHSCHNEID-EMBLIK (1959) befindet sich frisches Fleisch mit einem a_w -Wert-Bereich von 0,97 bis 0,995 in der Gesellschaft der meisten Lebensmittel. LEISTNER und Mitarb. (1971) kommen zu dem Ergebnis, daß im Mittel der a_w -Wert der Rindermuskeln 0,9912 und der a_w -Wert der Schweinemuskeln 0,9904 beträgt und somit nur ein unwesentlicher a_w -Wert-Unterschied zwischen Rind- und Schweinefleisch besteht. LEISTNER und WIRTH (1972) und LEISTNER und RÖDEL (1975) erhalten für

frisches Fleisch Wasseraktivitätswerte von 0,990. Frisch erschlachtetes Fettgewebe weist wie das frische Fleisch a_w -Werte um 0,99 auf (KRISPIEN und RÖDEL, 1978).

2.2.3.4 a_w -Wert und Taupunkt

Das "Schmierigsein" der Fleischoberfläche wird von SCHMIDHOFER (1973) als Resultat eines Wasserdampf-Kondensat-Niederschlages auf Schlacht-tierkörperoberflächen angesehen. WIRTH (1974) bezeichnet die Kondensation von Wasserdampf auf der Oberfläche als eine nicht zu unterschätzende Ursache für schnelleren Verderb von Fleisch und Fleisch-erzeugnissen, da Mikroorganismen durch den Anstieg der Wasseraktivität auf der Oberfläche bessere Entwicklungsmöglichkeiten erhalten. Wird schlachtwarmes Fleisch in einen Kühlraum verbracht, tritt, von den warmen Tierkörperteilen ausgehend, in der Kühlraumluft das Kondenswasser in Form von Nebel auf, und auf bereits gekühlten Tierkörperoberflächen schlägt sich Kondensat nieder (HOAGLAND und Mitarb., 1917). Andererseits kommt es ebenfalls zu einer Kondensation von Wasserdampf auf der Fleischoberfläche, wenn kaltes Fleisch in einen warmen Raum mit hoher Luftfeuchtigkeit verbracht wird und dabei die Oberflächen-temperatur des Fleisches den Taupunkt der Umgebungsluft unterschreitet. Unter diesen Umständen schlägt sich augenblicklich Feuchtigkeit auf der Fleischoberfläche nieder (WIRTH, 1974).

Obwohl die Wasserdampfkondensation nach Auffassung mehrerer Autoren (GRIESHAMMER, 1965; LANG, 1968; BELICA, 1974; WIRTH und Mitarb., 1975; BELICA, 1976a, 1976b) wichtig für die schnelle Vermehrung von Mikroorganismen auf Fleischoberflächen ist, kommt es selbstverständlich auch ohne Wasserdampfkondensation zur Keimvermehrung auf dem Fleisch. SCHMID (1931) und HEISS (1938) kommen bei Untersuchungen über das Bakterienwachstum auf Fleisch in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebung bei verschiedenen Temperaturen (0 °, + 2 ° und + 4 °C) zu dem Ergebnis, daß die Keimvermehrung keineswegs erst mit der Unterschrei-

tung des Taupunktes einsetzt, sondern bereits bei einer Umgebungsfeuchtigkeit über 90 % rF mit einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Haltbarkeitsdauer gerechnet werden muß. Die Keimvermehrung ist bei Unterschreiten des Taupunktes lediglich am stärksten. Da man unmittelbar nach der Schlachtung von einem Wasseraktivitätswert von 0,99 der Oberfläche eines Schlachttierkörpers ausgehen muß, treffen die meisten Mikroorganismen, die nach der Schlachtung auf die Fleischoberfläche gelangen, hinsichtlich der Feuchtigkeitsverhältnisse an der Fleischoberfläche günstige Lebensbedingungen an (SCHWARTZ und KAEß, 1934).

2.2.3.5 a_w-Wert und Abtrocknung

Wie bereits gesagt, würde eine hohe relative Luftfeuchtigkeit (rF) von 99 % und darüber, die dem a_w-Wert des frisch erschlachteten Fleisches von 0,99 entspricht, Gewichtsverluste während der Kühlagerung von Fleisch vermeiden (SAACKE, 1967). Dennoch werden, basierend auf den Untersuchungen mehrerer Autoren (SCHMID, 1931; SCHWARTZ und SCHMID, 1931; SCHWARTZ und LOESER, 1934; WAGNER und STEINER, 1936; HEISS, 1938), Schlachttierkörper optimal bei $\pm 0^{\circ}\text{C}$ und 90 % rF gelagert (THEIREICH, 1959; SHAW, 1972; TAMM, 1976; WIRTH und Mitarb., 1976). Diese Luftfeuchtigkeit von 90 % rF wird als ein Kompromiß angesehen, denn einerseits soll eine mäßige und erwünschte Abtrocknung der Tierkörper und damit eine Absenkung des a_w-Wertes der oberflächlichen Gewebeschichten - wodurch die Keimvermehrung verzögert wird - erreicht werden, andererseits sollen jedoch auch mit dieser relativen Luftfeuchtigkeit unwirtschaftliche Gewichtsverluste vermieden werden (WIRTH und Mitarb., 1976).

Für die Abtrocknung bzw. die Gewichtsverluste der Tierkörper ist jedoch nicht nur die relative Luftfeuchtigkeit im Kühlraum maßgebend, sondern auch die Luftbewegung. Nach HEISS (1938) kommt es zur Abtrocknung der Oberflächenschichten von Schlachttierkörpern, wenn von der Oberfläche mehr frei bewegliches Wasser abgeführt wird, als vom Innern des Flei-

sches nachdiffundieren kann. HEISS (1938) führt weiter aus, daß eine trockene Oberfläche bei Kühlung ohne Luftbewegung nur auf Kosten hoher Gewichtsverluste zu erreichen ist. Bei der Anwendung einer höheren Luftgeschwindigkeit und einer niedrigen Lufttemperatur wird zunächst mehr Wasser von der Oberfläche abgeführt, so daß leichter eine dünne Oberflächenschicht trocknet, wobei jedoch der Gesamtgewichtsverlust aufgrund der Verkürzung der Abkühldauer der Schlachttierkörper nicht größer ist als bei langsamer Abkühlung. Auch FRÜHWALD (1953), LANG (1968a, 1968b, 1974, 1976) sowie TAMM (1974, 1976) weisen darauf hin, daß beim Kühlvorgang sowohl im Bereich höherer als auch niedriger Lufttemperaturen der Gewichtsverlust mit Erhöhung der Luftgeschwindigkeit durch die Verkürzung der Abkühlzeit der Tierkörper abnimmt. Einschränkend kommt jedoch TAMM (1974, 1976) zu dem Ergebnis, daß ab einem bestimmten Wert mit Erhöhung der Luftgeschwindigkeit die Gewichtsverlust wieder zunehmen.

Schließlich ist für die Abtrocknung der Tierkörper, wie im vorangehenden Absatz bereits angedeutet, auch die Temperatur des Fleisches von Bedeutung. Die Verdunstungsgeschwindigkeit von freibeweglichem Wasser aus den Oberflächengeweben ist eine Funktion der Differenz Wasserdampfdruck der umgebenden Luft minus Wasserdampfdruck der Oberfläche und der Geschwindigkeit, mit der die Luft über die Oberfläche hinwegstreicht (SCHWARTZ und LOESER, 1934; HICKS, 1935; SCOTT und VICKERY, 1939; HICKS und Mitarb., 1954). HICKS (1955) nennt zwei Faktoren, die während der Abkühlung und Kühllagerung von Fleisch das Ausmaß der Verdunstung bestimmen. Während der Abkühlphase, bei der das Fleisch von der Körpertemperatur des lebenden Tieres auf die Raumtemperatur an der Oberfläche bzw. auf etwa $+ 4^{\circ}\text{C}$ im Kern abgekühlt wird, geht mit der Differenz zwischen Lufttemperatur und Oberflächentemperatur ein entsprechender Wasserdampfdruck-Unterschied zwischen Oberfläche und umgebender Luft einher. Während des frühen Abkühlstadiums korrespondiert die hohe Oberflächentemperatur des Fleisches mit einem hohen

Wasserdampfteilddruck in den Oberflächenschichten. Der Wasserdampfteilddruck liegt in diesem Stadium erheblich über dem Wasserdampfteilddruck der umgebenden Luft. Solange größere Temperaturdifferenzen zwischen der Fleischoberfläche und der Luft bestehen, bleibt die starke Wasserdampfteilddruck-Differenz von der Oberfläche zur umgebenden Luft die entscheidende Ursache für die starke Verdunstung und damit für den großen Gewichtsverlust während der Abkühlphase (SCOTT und VICKERY, 1939; SCOTT, 1955; KARMAS, 1975; LANG, 1978). Dagegen ist während der Haltephase, d. h. bei der Kühl Lagerung des Fleisches, die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft der ausschlaggebende Faktor für die weitere Verdunstung von freibeweglichem Wasser aus der Fleischoberfläche (HICKS, 1955). Während der Kühlhaltephase entspricht die Oberflächentemperatur nahezu der Lufttemperatur. Hier liegt eine Wasserdampfteilddruck-Differenz vor, die sich aus dem Wert der Wasseraktivität der Oberflächenschichten des Fleisches minus dem Wert der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft errechnen läßt. Von SCOTT und VICKERY (1939) wird mitgeteilt, daß Fleisch mit einer Temperatur von $+ 20^{\circ}\text{C}$ und einem a_w -Wert von 0,99 in einem Kühlraum von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ und 90 % relativer Luftfeuchtigkeit eine Wasserdampfteilddruck-Differenz gegenüber der Raumluft von 13,236 mm Hg aufweist. Rechnet man, unter Verwendung der Sättigungsdampfdruckangaben über Wasser (LANDOLT-BÖRNSTEIN, 1931) für den gesamten Temperaturbereich ($+ 35^{\circ}$ bis $\pm 0^{\circ}\text{C}$) der bei der Abkühlung der Tierkörper von Interesse ist, die Wasserdampfpartialdrucke der Fleischoberfläche sowie die Differenz des Wasserdampfdruckes zwischen Fleischoberfläche und Raumluft bei einer gegebenen Temperatur aus, dann ergeben sich die in Tabelle 2 aufgeführten Werte.

Tabelle 2: Wasserdampfteildruck-Differenz der Fleischoberfläche zu Kühlraumluft während der Abkühlung von Fleisch

Temperatur der Fleischoberfläche in °C	Wasserdampfteildruck bei einem a_w -Wert von 0,99 der Fleischober- fläche in mm Hg	Wasserdampfteildruck- Differenz zwischen Fleischoberfläche und Raumluft*
+ 35	41,753	37,632
+ 30	31,506	27,385
+ 25	23,518	19,397
+ 20	17,358	13,237
+ 15	12,660	8,539
+ 10	9,117	4,996
+ 5	6,478	2,357
± 0	4,533	0,412

* Bei einer Temperatur von ± 0 °C und 90 % rel. Luftfeuchtigkeit liegt ein Wasserdampfteildruck in der Luft von 4,121 mm Hg vor

Eine Verminderung des a_w -Wertes des Fleisches auf der Oberfläche von Tierkörpern während der Kühllagerung kann erstens auf eine Konzentrierung von löslichen Substanzen auf der Fleischoberfläche und zweitens auf die Bildung einer "Kruste" oder "Lederhaut" zurückzuführen sein, wobei die beiden Erscheinungen oft gemeinsam auftreten.

Während des Verdunstungsvorganges kommt es an der Fleischoberfläche zur Konzentrierung der im freien Wasseranteil gelösten Substanzen (HEISS, 1933; SCHWARTZ und LOESER, 1934; KAEßS und SCHWARTZ, 1934; HICKS und Mitarb., 1957), so daß durch die damit verbundene Erhöhung des osmotischen Druckes bzw. die damit einhergehende Verminderung des a_w -Wertes eine Verminderung der Keimvermehrung verursacht werden kann. Bei der Kühllagerung von Fleisch in Räumen mit hoher relativer Luft-

feuchtigkeit und geringer Luftbewegung können die auf der Fleischoberfläche konzentrierten löslichen Substanzen durch nachdiffundierendes Wasser wieder verdünnt werden (HICKS, 1935; HEISS, 1938; SCOTT, 1955). Andererseits können die auf der Fleischoberfläche konzentrierten Substanzen auch wieder in das Fleisch, im Sinne eines Konzentrationsausgleiches, hineindiffundieren (HICKS, 1935). Diese Vorgänge der Verdünnung der auf der Fleischoberfläche konzentrierten löslichen Substanzen werden erst in der Kühlhaltephase auftreten, da dann aufgrund der Temperaturgleichheit zwischen Fleischoberfläche und umgebender Luft die Differenz des Wasserdampfdruckes gering ist (SCOTT und VICKERY, 1939). Die Tabelle 2 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Somit wird der a_w -Wert der Fleischoberfläche durch die Faktoren Wasserverlust durch Verdunstung, Diffusion von Wasser zur Oberfläche aus tieferen Schichten des Fleisches und Diffusion von gelösten Stoffen von der Oberfläche weg in tiefere Schichten bestimmt (HICKS und Mitarb., 1957).

Die Entstehung einer "Kruste" oder "Lederhaut" auf der Fleischoberfläche während der Kühl Lagerung bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit und hoher Luftbewegung wird verursacht durch eine Entquellung der Oberfläche (SCHWARTZ und LOESER, 1934; LOESER, 1935; HEISS, 1938), wobei dieser Vorgang bei entsprechender Ausprägung irreversibel ist. CSISZAR und BIRO (1967) stellen Ergebnisse histologischer Untersuchungen derartiger aus Muskulatur bestehender "Krusten" vor. Sie stellen eine Verengerung des Durchmessers von Muskelfaszikeln infolge Wasserverlust fest, so daß ein Netz von bindegewebigem Charakter entsteht. Im histologischen Bild besteht Ähnlichkeit mit einer mit Faszien bedeckten Fleischoberfläche. Die histologisch nachweisbare "Kruste" besitzt nach den Autoren eine geringe Permeabilität für Wasser. Die Folge ist, daß Fleisch mit solchermaßen veränderter Oberfläche geringere Gewichtsverluste aufweist. CSISZAR und BIRO (1967) führen weiter aus, daß die Geschwindigkeit der Keimvermehrung auf der trockenen Fleischoberfläche vermindert ist.

2.2.3.6 a_w -Wert und Temperatur

Da die Messungen des a_w -Wertes gewöhnlich bei + 25 °C durchgeführt werden, die Lagerung von Fleisch und Fleischerzeugnissen aber bei niedrigen Temperaturen vorgenommen wird, ist die Frage nach der Temperaturabhängigkeit des a_w -Wertes von Bedeutung. Entgegen der Meinung von NORTHOLT (1973), Fleischwaren würden bei Kühltemperaturen höhere a_w -Werte aufweisen als bei + 25 °C, kommen KRISPIEN und RÖDEL (1976) zum Ergebnis, daß die Wasseraktivität von Fleisch und Fleischerzeugnissen durch Absenkung der Temperatur erniedrigt wird. Das Ausmaß der temperaturabhängigen a_w -Wert-Absenkung ist jedoch so gering, daß der bei + 25 °C ermittelte a_w -Wert von Fleisch und Fleischerzeugnissen den a_w -Wert bei Kühl Lagerung repräsentiert. RÖDEL und KRISPIEN (1977) geben für 1 °C Temperaturabsenkung oberhalb des Gefrierbeginns von Fleisch und Fleischerzeugnissen eine Abnahme um 0,00015 a_w -Einheiten an. Somit trifft praktisch der bei + 25 °C ermittelte a_w -Wert von 0,99 für bei $\pm$ 0 °C gelagertes, frisches Fleisch zu. Deutlicher ist der Einfluß der Temperatur auf die Meßgeräte; daher müssen die Eichkurven für die Feuchtigkeitsensoren aufgrund des Temperaturverhaltens der Meßwiderstände bei der jeweiligen Meßtemperatur erstellt werden (KRISPIEN und RÖDEL, 1976; RÖDEL und KRISPIEN, 1977; RÖDEL und Mitarb., 1978).

2.3 Einfluß physikalischer Parameter der Fleischoberfläche auf Mikroorganismen

In dem vorliegenden Zusammenhang sind solche Mikroorganismen von Interesse, die sich auf der Oberfläche von kühl gelagerten Schlacht tierkörpern, also in bestimmten Bereichen der Temperatur, des pH-Wertes, des a_w -Wertes und Eh-Wertes, vermehren können. Die in Betracht kommenden Arten von Mikroorganismen müssen folglich unter + 10 °C, bei einem pH-Wert unter 6,0, einem a_w -Wert unter 0,99 und in Gegenwart von Luftsauerstoff vermehrungsfähig sein. Unter Zugrundelegung dieser Voraussetzungen werden nachfolgend die aeroben oder fakultativ anaeroben Gattungen bzw. Arten von Mikroorganismen aufgeführt, die für Fleischoberflächen relevant sind.

2.3.1 Temperatur und Mikroorganismen

In Tabelle 3 sind die Minimaltemperaturen solcher Gattungen von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen aufgeführt, die unter 10 °C aerob vermehrungsfähig sind. Die Tabelle wurde in Anlehnung an HECHELMANN und LEISTNER (1977) erstellt und ist auf die Untersuchungsergebnisse zahlreicher Autoren zurückzuführen.

Tabelle 3: Minimaltemperaturen von Mikroorganismen, die unter + 10 °C aerob auf Frischfleisch vermehrungsfähig sind (nach HECHELMANN und LEISTNER, 1977)

Temperatur °C	Gattung oder Keimart
+ 7	<u>Escherichia</u> , <u>Proteus</u> , <u>Staphylococcus aureus</u>
+ 5	<u>Salmonella</u> , <u>Vibrio</u> , <u>Citrobacter</u> , <u>Micrococcus</u> , <u>Corynebacterium</u>
+ 3	<u>Lactobacillus</u> , <u>Streptococcus</u> , <u>Serratia</u> , <u>Staphylococcus</u>
+ 0	<u>Enterobacter</u> , <u>Klebsiella</u> *, <u>Aeromonas</u> , <u>Escherichia</u> *, <u>Proteus</u> *, <u>Yersinia</u> , <u>Pseudomonas</u> , <u>Lactobacillus</u> *, <u>Streptococcus</u> *, <u>Micrococcus</u> *, <u>Microbacterium</u> *
- 5	<u>Pseudomonas</u> *, <u>Flavobacterium</u> *, <u>Alcaligenes</u> *, <u>Acinetobacter</u> *, <u>Bacillus</u> *
- 8	<u>Rhizopus</u> *(S), <u>Mucor</u> *(S), <u>Thamnidium</u> *(S)
- 12	<u>Cryptococcus</u> *(H), <u>Cladosporium</u> *(S)
- 18	<u>Penicillium</u> *(S), <u>Fusarium</u> *(S)

* = einige Stämme; S = Schimmelpilze; H = Hefen

Der Tabelle 3 ist zu entnehmen, daß zahlreiche Gattungen gramnegativer Bakterien auf gekühlten Fleischoberflächen vermehrungsfähig sind, dazu gehören insbesondere Vertreter der Gattungen Pseudomonas, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter, Flavobacterium, Alcaligenes sowie auch Vertreter der Gattungen Escherichia, Proteus, Aeromonas, Vibrio, Acinetobacter und Yersinia. Die Gattung Salmonella ist unter + 5 °C nicht mehr vermehrungsfähig. Allgemein ist davon auszugehen, daß der Verderb von kühlgelagerten Schlacht tierkörpern primär durch Mikroorganismen der Familie Pseudomonadaceae und durch psychrotolerante Enterobacteriaceae (Enterobacter-Klebsiella-Gruppe) verursacht wird (HECHELMANN und Mitarb., 1974; HECHELMANN und LEISTNER, 1977). Daneben sind für den Verderb von kühl gelagertem Fleisch auch grampositive Bakterien von Bedeutung, insbesondere Vertreter der Gattungen Lactobacillus, Streptococcus, Micrococcus, Staphylococcus, Microbacterium, Corynebacterium sowie einige Stämme der Gattung Bacillus. Eine Vermehrung von Staphylococcus aureus ist unter + 7 °C nicht mehr möglich. Schimmelpilze, insbesondere Vertreter der Gattungen Penicillium, Rhizopus, Mucor, Thamnidium, Cladosporium und Fusarium sowie einige Hefen sind auch auf gefrorenem Fleisch vermehrungsfähig. Trotz geringer Minimaltemperaturen spielen jedoch die Schimmelpilze bei der Kühl lagerung von Frischfleisch nur eine untergeordnete Rolle, da sie sich langsamer vermehren als die Bakterien (SCHMIDT-LORENZ, 1963).

2.3.2 pH-Wert und Mikroorganismen

In der Tabelle 4 sind die minimalen pH-Werte von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen aufgeführt. Diese Tabelle wurde in Anlehnung an RÖDEL (1975) aufgestellt und ist auf die Untersuchungsergebnisse mehrerer Autoren zurückzuführen.

Aus der Tabelle 4 geht hervor, daß zahlreiche und wahrscheinlich die meisten der unter + 10 °C vermehrungsfähigen Mikroorganismen auch bei einem pH-Wert unter 6,0 vermehrungsfähig sind. Allerdings kann man davon

ausgehen, daß bei den pH-Werten, die das Fleisch 24 Stunden nach der Schlachtung aufweist, insbesondere gramnegative Bakterien sich nicht mehr so schnell und gut vermehren, wie bei einem neutralen pH-Wert. Im Sinne des Hürdeneffektes (LEISTNER und RÖDEL, 1976; LEISTNER, 1977; LEISTNER und RÖDEL, 1978) kann demnach auch von den bei Fleisch anzutreffenden pH-Werten eine gewisse Verzögerung der Keimvermehrung erwartet werden.

Tabelle 4: Minimale pH-Werte von Mikroorganismen, die unter pH 6,0 aerob auf kühlgelagertem Frischfleisch vermehrungsfähig sind (nach RÖDEL, 1975)

pH-Wert	Gattung oder Keimart
5,5	<u>Bacillus</u>
5,4	<u>Bacillus</u> *
5,2	<u>Bacillus</u> *
5,0	<u>Pseudomonas</u> , <u>Serratia</u> , <u>Staphylococcus aureus</u>
4,7	<u>Micrococcus</u> *
4,6	<u>Escherichia</u> *, <u>Serratia</u> *
4,5	<u>Proteus</u> *, <u>Salmonella</u> *, <u>Micrococcus</u> *, <u>Bacillus</u> *
4,4	<u>Pseudomonas</u> *
4,3	<u>Escherichia</u> *
4,0	<u>Proteus</u> *, <u>Salmonella</u> *
2,0	<u>Schimmelpilze</u> *, <u>Hefen</u> *

* = einige Stämme

2.3.3 a_w -Wert und Mikroorganismen

Die Tabelle 5 enthält die minimalen a_w -Werte von Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen, die auf kühlgelagertem Fleisch aerob vermehrungsfähig sind. Diese Tabelle wurde in Anlehnung an LEISTNER und RÖDEL (1976) aufgestellt und gibt die Ergebnisse sehr vieler Autoren wieder.

Tabelle 5: Minimale a_w -Werte von Mikroorganismen, die unter a_w 0,99 und aerob auf kühlgelagertem Fleisch vermehrungsfähig sind (nach LEISTNER und RÖDEL, 1976)

a_w -Wert	Gattung oder Keimart
0,98	<u>Pseudomonas</u> *
0,96	<u>Klebsiella</u> , <u>Flavobacterium</u> , <u>Pseudomonas</u> *, <u>Proteus</u> * <u>Lactobacillus</u> *
0,95	<u>Escherichia</u> , <u>Proteus</u> , <u>Salmonella</u> , <u>Enterobacter</u> , <u>Citrobacter</u> , <u>Serratia</u> , <u>Pseudomonas</u> , <u>Vibrio</u> , <u>Alcaligenes</u> , <u>Bacillus</u>
0,94	<u>Vibrio</u> *, <u>Lactobacillus</u> , <u>Pediococcus</u> , <u>Streptococcus</u> *, <u>Microbacterium</u>
0,93	<u>Lactobacillus</u> *, <u>Streptococcus</u> , <u>Rhizopus</u> (S), <u>Mucor</u> (S)
0,92	<u>Pichia</u> (H), <u>Rhodotorula</u> (H)
0,91	<u>Staphylococcus</u> , <u>Streptococcus</u> *, <u>Corynebacterium</u>
0,90	<u>Vibrio</u> *, <u>Lactobacillus</u> *, <u>Pediococcus</u> , <u>Micrococcus</u> , <u>Hansenula</u> (S), <u>Saccharomyces</u> (S)
0,88	<u>Candida</u> (H), <u>Debaryomyces</u> (H), <u>Torulopsis</u> (H), <u>Cladosporium</u> (S)
0,87	<u>Debaryomyces</u> * (H)
0,86	<u>Paecilomyces</u> (S)
0,80	<u>Saccharomyces</u> * (H), <u>Aspergillus</u> (S), <u>Penicillium</u> (S)

* = einige Stämme; S = Schimmelpilze; H = Hefen

Die Tabelle 5 läßt erkennen, daß zahlreiche Gattungen von Mikroorganismen bei den für Frischfleisch üblichen a_w -Werten, bei Kühltemperaturen, den üblichen pH-Werten und in Gegenwart von Luftsaurestoff vermehrungsfähig sind. Folglich ist auch der a_w -Wert von unbehandeltem Frischfleisch als keine starke Hürde im Hinblick auf eine Hemmung der Keimvermehrung anzusehen. Allerdings gilt auch hier, daß der a_w -Wert nicht isoliert betrachtet werden sollte, sondern daß ein Zusammenspiel zwischen a_w -Wert, pH-Wert und Temperatur anzunehmen ist und erst daraus die Wirkung auf die Keimvermehrung abzuleiten ist. Darauf haben zahlreiche Autoren hingewiesen (WODZINSKI und FRAZIER, 1960, 1961a, 1961b; IANDOLO und Mitarb., 1964; PETERSON und Mitarb., 1964; SEGNER und Mitarb., 1966; GENIGEORGIS und SADLER, 1966; OHYE und CHRISTIAN, 1966; OHYE und Mitarb., 1966; BAIRD-PARKER und FREAME, 1967; MARLAND, 1967; McLEAN und Mitarb., 1968; ALFORD und PALUMBO, 1969; GENIGEORGIS und Mitarb., 1971; SEGNER und Mitarb., 1971; MATCHES und LISTON, 1972; TOMCOV und Mitarb., 1974; LEISTNER und RÖDEL, 1976).

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Material

Als Untersuchungsmaterial diente Rind- und Schweinefleisch aus Normal-schlachtungen des Schlachthofes der Stadt Kulmbach. Von der Oberfläche dieses Materials wurden die Temperatur, der a_w -Wert und der pH-Wert gemessen. Je nach Beschaffenheit sind dazu die Oberflächen in die fünf folgenden Regionen eingeteilt worden (siehe dazu auch Abbildung 2):

- I. Schnittflächen von Muskulatur und Fett (Rind und Schwein)
- II. Unversehrte Muskulatur (Rind)
- III. Faszie über Muskulatur (Rind und Schwein)
- IV. Faszie über Fettgewebe (Rind)
- V. Schwarte (Schwein)

Region I: Bestand aus dem bei der Spaltung der Schlachttierkörper des Schweines und des Rindes durchtrennten Muskel- und Fettgewebe (I in Abbildung 2).

Region II: Es handelte sich bei der unversehrten Muskulatur um den großflächigen Musculus cutaneus trunci sowie den M. cutaneus scapulae et humeri, die mit ihrem Epimysium überzogen waren. Diese Hautmuskulatur bildet nur bei Rinderhälften einen Teil der Oberfläche (II in Abbildung 2).

Region III: Wurde bei den Rinderhälften durch die oberflächliche Kruppenfaszie über dem Gebiet der äußeren Hüft- und Kruppenmuskeln und der Hinterbackenmuskeln der Fleischseite sowie der medialen Oberschenkelmuskeln der Knochenseite dargestellt; jedoch auch durch die oberflächliche Halsfaszie auf der Fleischseite über dem Gebiet der Schultergürtel- und Halsmuskulatur. Sowohl beim Rind als auch beim Schwein wurde die Region III weiterhin durch das Brust- und Bauchfell über dem Gebiet der Zwischenrippen-, Zwerchfell- und Bauchmuskulatur auf der Knochenseite repräsentiert (III in Abbildung 2).

Region IV: Als Faszie über Fett wurde die oberflächliche Rumpf- und Nackenfazie der Fleischseite, die nur bei Rinderhälften einen Teil der Oberfläche bildet und mitunter stark mit Fettgewebe unterlagert war, bezeichnet (IV in Abbildung 2).

Region V: Bei der Schwarte handelte es sich um die beim Entborsten teilweise verletzte Epidermis über dem dicken subepidermalen Fettgewebe der nicht enthäuteten Schweinehälften (V in Abbildung 2).

3.1.1 Praxisversuche

Diese Untersuchungen sind im Kühlraum des Schlachthofes der Stadt Kulmbach durchgeführt worden, in dem im allgemeinen Schweinehälften maximal 3 Tage und Rinderhälften maximal 5 Tage verbleiben. Die Messungen im Verlaufe des Beobachtungszeitraumes von 5 Tagen nach der Schlachtung erfolgten meist an verschiedenen Tierkörpern.

3.1.1.1 Tierkörper und Kühlraum

Die Schlachttierkörper gelangten nach der Fleischuntersuchung in den Schnellstkühltunnel (sog. Schocktunnel). Die Einstellung der Geschwindigkeit der Förderkette wurde zum Schnellstabbkühlen der Schweinehälften so gewählt, daß die Verweildauer ca. eine Stunde betrug. Die Lufttemperatur wurde auf -4° bis -6°C und die Luftbewegung auf 4 bis 6 m/sec eingestellt. Für Rinderhälften ergab sich eine Verweildauer von ca. 2 bis 2 1/2 Stunden. Die Einstellung der Lufttemperatur wurde bei der Schnellstabbkühlung der Rinderhälften auf -2° bis -3°C eingestellt; die Luftgeschwindigkeit war die gleiche wie bei der Schnellstabbkühlung der Schweinehälften. Die Stundenleistung des Schocktunnels beträgt 20 bis 25 Rinder bzw. Kälber oder 60 bis 70 Schweine. Ziel der Schnellstabbkühlung ist, Schweinehälften mit einer Kerntemperatur von $+18^{\circ}$ bis $+20^{\circ}\text{C}$ und Rinderhälften mit einer Kerntemperatur von $+25^{\circ}$ bis $+27^{\circ}\text{C}$ in den Kühlraum zum Nachkühlen zu bringen. Die Kapazität des Kühlraumes lag bei 500 Schweinen oder 150 Rindern. Die Beschickung des Kühlraumes erfolgte 4 bis 5 mal in der Woche. Eine NaBreinigung mit kaltem und

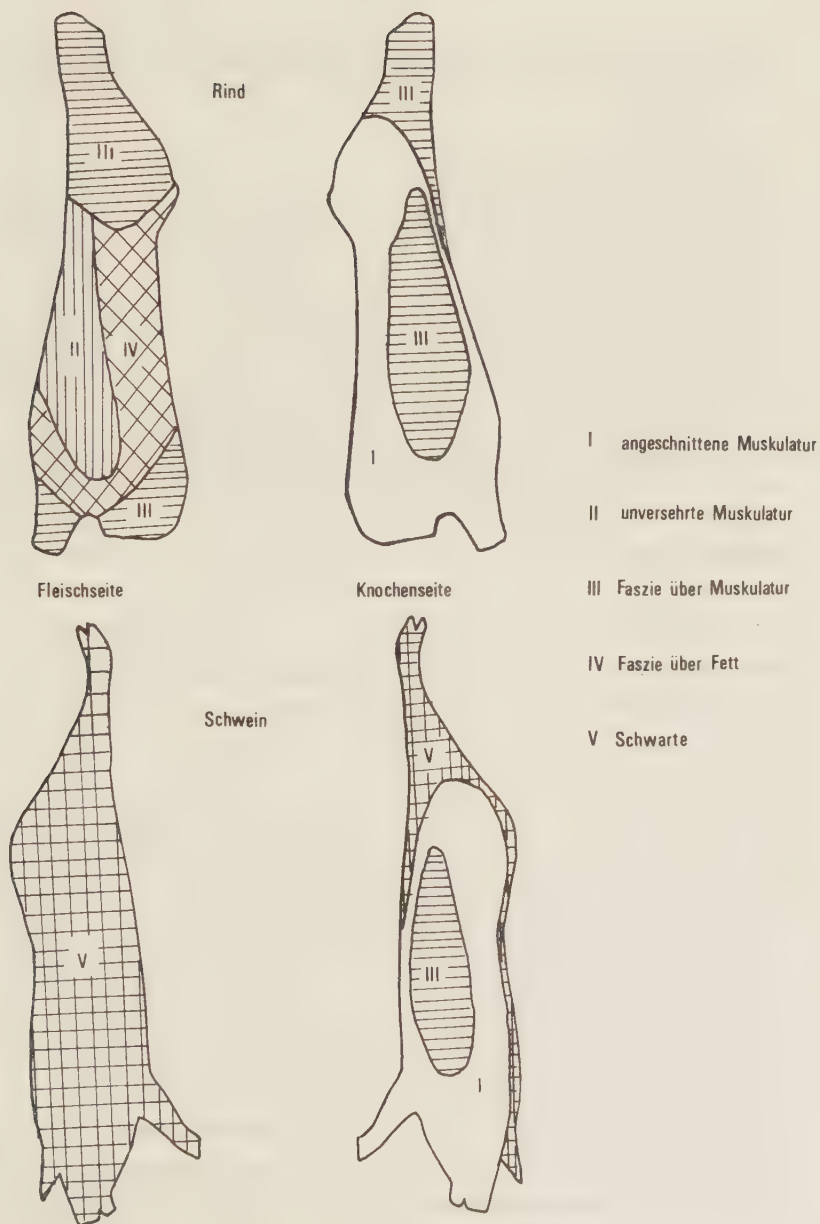


Abbildung 2: Region der Oberflächen der Schlachtierkörper von Rind und Schwein

anschließend heißem Wasser wurde einmal wöchentlich bei belegtem Kühlraum vorgenommen.

3.1.1.2 Meßgeräte

Im Kühlraum befand sich zur Steuerung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit an einem Stützpfeiler - abgewandt vom Kühlgut und ca. 3 m senkrecht unterhalb der Reihe der Verdampfer und der Radiatoren - ein Pt-100 Thermogrenzgeber und als Feuchtegrenzgeber ein Haarhygrometer. Der Temperaturgrenzgeber war auf $\pm 0^{\circ}\text{C}$ und der Feuchtegeber auf 90 % rF eingestellt. Von uns wurde die Raumtemperatur mit dem elektronischen Temperaturmeßgerät Typ AAHT 1 (HARTMANN und BRAUN, Frankfurt) und die relative Luftfeuchtigkeit mit dem Luftfühler LG (ROTRONIC, Zürich), einem Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich) und dem SERVOMED-Feuchtefühler (SERVORMED, Stockholm), die an einen 12-Kanal-Punkteschreiber, Typ Polycomp 2 (HARTMANN und BRAUN, Frankfurt) überprüft. Eine kontinuierliche Aufzeichnung der relativen Luftfeuchtigkeit war dadurch möglich. Zur Messung der Luftgeschwindigkeit diente das Hitzdraht-Anemometer (WALLAC, Turku, Finnland). Das Meßprinzip dieses Gerätes beruhte darauf, daß ein erhitzter Nickel-Widerstandsdraht durch die vorbeistreichende Luft abgekühlt wurde. Die Abkühlung des Widerstandsdrahtes führte zur Widerstandsverringering des Drahtes. Die Widerstandsveränderung wurde von einer Analog-Skala in m/sec angezeigt. Von den Schlacht tierkörperoberflächen wurde die Temperatur mit dem elektronischen Temperaturmeßgerät Typ AAHT 1 (HARTMANN und BRAUN, Frankfurt) gemessen, an das über einen Meßstellenumschalter die Temperaturfühler HO 200 und T 200 (HARTMANN und BRAUN, Frankfurt) angeschlossen waren. Der Fühler HO 200 ist speziell für Oberflächenmessungen geeignet.

Zur pH-Wert-Messung der Oberflächen ist das Digital-pH-Meter Portamess 651 (KNICK, Berlin), in Verbindung mit der Einstabmeßkette Typ 403-KN (INGOLD, Frankfurt) verwendet worden. Der pH-Wert des Inneren der Muskulatur wurde mit dem gleichen Gerät, jedoch in Verbindung

mit einer Einstabmeßkette Typ 406-M6-2-KN (INGOLD, Frankfurt) bestimmt.

Für die Messung des a_w -Wertes der Oberfläche von Schlachttierkörpern standen noch keine Meßgeräte zur Verfügung, sondern mußten erst im Verlauf der Untersuchungen erprobt oder entwickelt werden. Erprobt wurde das Evaporimeter Ep 1 (SERVOMED, Stockholm), das in der Humanmedizin z. B. für dermatologische Untersuchungen und bei der Behandlung von Verbrennungen eingesetzt wird. Entwickelt wurde gemeinsam mit der Firma DMP-DEBRUNNER (Zürich) ein Spezialfeuchtefühler, der an das Hygroskop D (ROTRONIC, Zürich) angeschlossen wird. Unter den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wird mitgeteilt, wie die Meßanordnung zur Bestimmung des oberflächlichen a_w -Wertes von Fleisch entwickelt wurde und welche Erfahrung mit den erprobten und entwickelten a_w -Meßgeräten gemacht werden konnten.

3.1.2 Modellversuche

Diese Untersuchungen wurden in einem Meßraum der Bundesanstalt für Fleischforschung durchgeführt, in dem sich verschiedene Typen von a_w -Meßgeräten sowie ein Präzisions-Klimaschrank befinden.

3.1.2.1 Gewebeproben und Klimaschrank

Für die Modellversuche wurden Proben der in Abbildung 2 dargestellten Oberflächenregionen 24 Stunden nach der Schlachtung von Schlachttierkörpern des Schweines und des Rindes aus Normalschlachtungen des Kulmbacher Schlachthofes entnommen. Die Proben besaßen eine Oberfläche von ca. 200 cm². Sämtliche unter dem betreffenden Oberflächengewebe liegenden Gewebsschichten (im allgemeinen Muskulatur) wurden an der Probe belasten, so daß das Gewicht jeder Probe ca. 1 kg betrug. Die seitlichen Schnittflächen der Proben wurden mit Paraffin abgedichtet. Die Untersuchungen an den Oberflächengewebeproben wurden in einem Kälte-Wärme-Klimaprüfschrank Typ 300 ABT (WEISS, Gießen) durchgeführt. Der Prüfrauminhalt die-

ses Klimaschranks betrug ca. 300 l. Die Prüfraumabmessungen waren ca. 800 x 600 x 600 mm. Der Klimaschrank belegte einen Temperaturbereich von $- 30^{\circ}$ bis $+ 95^{\circ}\text{C}$ mit einer Temperaturkonstanz von $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ und einen Taupunkttemperaturbereich von $- 40^{\circ}$ bis $+ 95^{\circ}\text{C}$ mit einer Taupunkttemperaturkonstanz von $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Die einstellbare relative Luftfeuchtigkeit betrug 0 bis 98 % rF. Die Feuchtigkeitskonstanz lag bei $\pm 1,0$ % rF. Die Be- und Entfeuchtung der Luft wurde in diesem Schrank nach dem sog. Taupunktprinzip vorgenommen. Bei gewünschten Taupunkttemperaturen im Gefrierbereich bis $- 40^{\circ}\text{C}$ schaltete sich automatisch ein sog. Silica-Gel-Trockner in das Klimakonditionierungssystem ein. Die Luftgeschwindigkeit war über das sog. Luftmengenventil regulierbar. Sämtliche Klimatisierungsaggregate und Bedienungseinheiten waren in einem Beistellgerät untergebracht.

3.1.2.2 Meßgeräte

Das Klima im Prüfraum des Klimaschranks wurde über einen LiCl-Feuchtegeber und einen P_t -100-Temperaturgeber gesteuert. Zusätzliche Kontrollen des Klimas waren über ein eingebautes Assmann-Psychrometer sowie über eigene Feuchtigkeitsmeßgeräte (Taupunkthygrometer der Fa. SCHLUMBERGER, Paris, und elektrolytisches Hygrometer der Fa. NOVASINA, Zürich) möglich, deren Anschlußkabel durch besonders abgedichtete Kabeldurchführungen verlegt wurden. Die Luftgeschwindigkeit wurde mit dem Hitzdraht-Anemometer (WALLAC, Turku, Finnland) kontrolliert. Von den Gewebeproben wurden die Temperatur, der pH-Wert und der a_w -Wert mit den gleichen Geräten, die für die Tierkörper auf dem Schlachthof verwendet wurden, gemessen (siehe 3.1.1.2).

3.1.3 Oberflächen-Beeinflussung

Modellversuche zur Beeinflussung des oberflächlichen pH-Wertes und a_w -Wertes und damit zur Haltbarkeitsverlängerung von Fleisch sind ebenfalls im Klimaschrank (siehe 3.1.2.1) durchgeführt worden.

3.1.3.1 Lösungen und Gewebeproben

In Vorversuchen wurden zur Beeinflussung des oberflächlichen a_w -Wertes und/oder pH-Wertes verschiedene Substanzen erprobt, und zwar 50%ige Glycerin-Lösung, eine wäßrige Lösung von Hexadecanol mit Äthylalkohol, eine Mischung aus Glycerin-Monostearat und einem Triglycerid (Olivenöl), eine Mischung aus Äthylcellulose und Erdnußöl, eine wäßrige Lösung von Kalium-Citrat und Kochsalz, eine wäßrige Lösung von Kochsalz, Essigsäure und Natriumacetat sowie eine im Handel befindliche Lösung zur Behandlung der Fleischoberfläche ("pH-Liquid"). Nachdem die besten Ergebnisse im Hinblick auf eine gleichzeitige Verminderung des a_w -Wertes und pH-Wertes mit einer wäßrigen Lösung von 21,6 % Kochsalz und 11,7 % Zitronensäure erzielt worden waren, wurde diese Lösung in den Hauptversuchen verwendet. Diese Lösung hatte bei + 25 °C einen a_w -Wert von 0,776 und bei ± 0 °C von 0,772; der pH-Wert lag bei 0,64 und die Pufferwirkung der Lösung bewegte sich im Bereich zwischen pH 3,0 bis 5,0.

3.1.3.2 Meßgeräte

Es wurden die gleichen Geräte, wie unter 3.1.2.2 beschrieben, eingesetzt.

3.2 Methodik

Während im Abschnitt 3.1 Material die Art der gemessenen Fleischoberflächen und das Fabrikat der verwendeten Meßgeräte beschrieben worden sind, soll in diesem Abschnitt die Meßanordnung dargestellt werden.

3.2.1 Meßanordnung beim Fleisch

Die zur Verfügung stehenden Schweinehälften wurden bis 3 Tage und die Rinderhälften bis 5 Tage im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach aufbewahrt. Da die Besitzer der Schlachttierkörper je nach Bedarf die Schweinehälften im Zeitraum von frühestens 1 bis höchstens 3 Tage nach der Schlachtung und die Rinderhälften im Zeitraum von frühestens 2 bis höchstens 5 Tage nach der Schlachtung abholten und die verbleibenden Schlacht-

tierkörper im Kühlraum wieder entsprechend zusammenschoben, konnten die Messungen nicht an den gleichen Schlachttierkörpern während des Untersuchungszeitraumes von jeweils 3 Tagen bei Schweinehälften und jeweils 5 Tagen bei Rinderhälften vorgenommen werden. Die Meßergebnisse von einem bis fünf Tagen nach der Schlachtung sind demnach nicht am gleichen Tierkörper gewonnen worden, sondern für jeden Untersuchungstag wurden 10 bis 30 Tierkörper insgesamt ausgemessen, wobei so viele Meßergebnisse, speziell für den Oberflächen- a_w -Wert, nicht an dem gleichen Tag, sondern nur in mehreren Durchgängen gewonnen werden konnten. Die Sammlung der Meßergebnisse im Kühlraum des Schlachthofes nahm etwa einen Monat in Anspruch.

Die in Modellversuchen verwendeten Proben stammten ebenfalls von mehreren Tierkörpern. Allerdings konnten im Klimaschrank die Fleischproben vom selben Tier, die unterschiedliche Oberflächen-Regionen repräsentierten, vom ersten bis fünften Tag gemessen werden. Obwohl auch in den Modellversuchen mehrere Durchgänge oder Wiederholungen erforderlich erschienen, war doch die Anzahl der für die Modellversuche verwendeten Tiere aufgrund der fortlaufenden Messung wesentlich geringer als die Anzahl der auf dem Schlachthof im Versuch befindlichen Tiere.

3.2.2 Behandlung der Fleischoberfläche

Die Herkunft der für die Oberflächen-Beeinflussung verwendeten Fleischproben war ähnlich, wie gerade für die Modellversuche beschrieben. Auch die behandelten Fleischproben stammten von mehreren Tierkörpern, da der Versuch drei- bis viermal wiederholt wurde. Bevor die Fleischproben, die am Tage nach der Schlachtung entnommen wurden und die fünf untersuchten Oberflächenregionen repräsentierten, in den Klimaschrank verbracht worden sind, wurden die verwendeten Lösungen bzw. Substanzen (siehe 3.1.3.1) aufgetragen. Für Lösungen, die Alkohole oder Öle enthielten, wurde zum Auftragen ein Pinsel verwendet. Die im Hauptversuch eingesetzte Kochsalz/Zitronensäure-Lösung konnte aufgesprüht werden. Dazu wurden 100 ml in einem Glasgefäß mit Schraubverschluß auf $+ 2^{\circ}$ bis $+ 4^{\circ}\text{C}$ abgekühlt.

In Verbindung mit einer Treibgasvorrichtung (DESAGA, Heidelberg) für chromatographische Zwecke wurden aus dem Glasgefäß ca. 10 ml der gekühlten Lösung auf 200 cm² der zu behandelnden Fleischoberfläche aufgesprüht. Die Proben wurden danach im Klimaprüfschrank fünf Tage gelagert, so daß am ersten, zweiten, dritten, vierten und fünften Tag nach der Schlachtung der a_w - und pH-Wert der behandelten Oberfläche bestimmt werden konnten.

3.2.3 Einsatz der Meßgeräte

Die verwendeten Meßgeräte sind in den Abschnitten 3.1.1.2 und 3.1.2.2 beschrieben worden und wurden wie folgt eingesetzt:

3.2.3.1 relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Feuchtigkeit im Kühlraum des Schlachthofes wurde mit den genannten Geräten nicht nur allgemein kontrolliert, sondern es wurde auch das "Feuchtigkeitsfeld" gemessen, das die Tierkörper unmittelbar umgibt. An drei Stellen der Schlachttierkörper (oben, mitte, unten) wurde im Abstand von 1 cm und 3 cm über der Fleischoberfläche die rel. Feuchtigkeit mit dem Luftfühler LG (ROTRONIC) gemessen. Während die Tierkörper im Schlachthof aufgrund mangelnder Luftbewegung ein Feuchtigkeitsfeld aufwiesen, war das bei den Fleischproben im Klimaschrank nicht der Fall und daher konnte hier auf diese Messung verzichtet werden.

3.2.3.2. Luftbewegung

Im Schlachthofkühlraum wurde die Luftgeschwindigkeit während der laufenden Oberflächen- a_w -Wert-Messung an den Schlachttierkörperoberflächen zwischen, unter und über den Schlachttierkörpern sowie im von Kühlgut nicht belegten Raum der Kühlhalle ermittelt. Die Messungen fanden sowohl bei ein- als auch bei ausgeschalteten Radiatoren statt. Im Klimaprüfschrank konnte die Meßsonde fest installiert werden.

3.2.3.3 Temperatur

Die Oberflächen-Temperatur des Fleisches konnte mit dem Oberflächen-fühler HO 200 exakt und durch einfaches Anhalten des Fühlers an die Oberfläche der Schlachttierkörper ermittelt werden. Dieser Temperatur-fühler nahm nur die Temperatur auf, die an der Kontaktstelle des Fühlers mit der Oberfläche vorlag.

Es mußte auch die Temperatur der Luft an den Vorverstärkern der Geräte für die Messung der rel. Luftfeuchtigkeit und des a_w -Wertes gemessen und berücksichtigt werden. Diese Vorverstärker sind in das Kabel zwischen Sensor und Gerät eingebaut und verändern ihre Charakteristik mit der Temperatur. Zur Messung der Lufttemperatur in der Nähe der Vorverstärker ist der Temperaturfühler T 200 verwendet worden, der auch zur Messung der Raumtemperatur eingesetzt wurde.

3.2.3.4 pH-Wert

Die Messung des pH-Wertes des Inneren der Muskulatur wurde mit der Einstech-Elektrode durchgeführt, nachdem mit einem Skalpell am M. psoas major und am M. semimembranaceus bei Rinderhälften sowie am M. longissimus dorsi und M. semimembranaceus bei Schweinehälften ein ca. 1 cm tiefer Schnitt angelegt wurde. Da zur Messung des Oberflächen-pH-Wertes nicht die Einstech-Elektroden verwendet werden konnten, mußten Elektroden zur pH-Wert-Messung von Flüssigkeiten herangezogen werden. Bei diesen Elektroden war auf einen guten Kontakt der Glasmembran sowie des Diaphragmas mit der zu messenden Oberfläche zu achten. An fünf Stellen pro Tier und Oberflächenregion wurde der Oberflächen-pH-Wert ermittelt. Für den ersten bis dritten Tag beim Schwein und den ersten bis fünften Tag beim Rind sind jeweils 3 Tiere untersucht worden. Folglich wurde der Oberflächen-pH-Wert jeder Region, jeden Tages und jeder Tierart jeweils aus 15 Messungen abgeleitet. Die Ablesung des pH-Meters erfolgte nach Stillstand der Digitalanzeige. Die Elektroden mußten nach jeder Messung mit destilliertem Wasser abgespült und mit einem weichen Saugpapier abgetrocknet werden. Eichungen erfolgten nach 5 Messungen mit

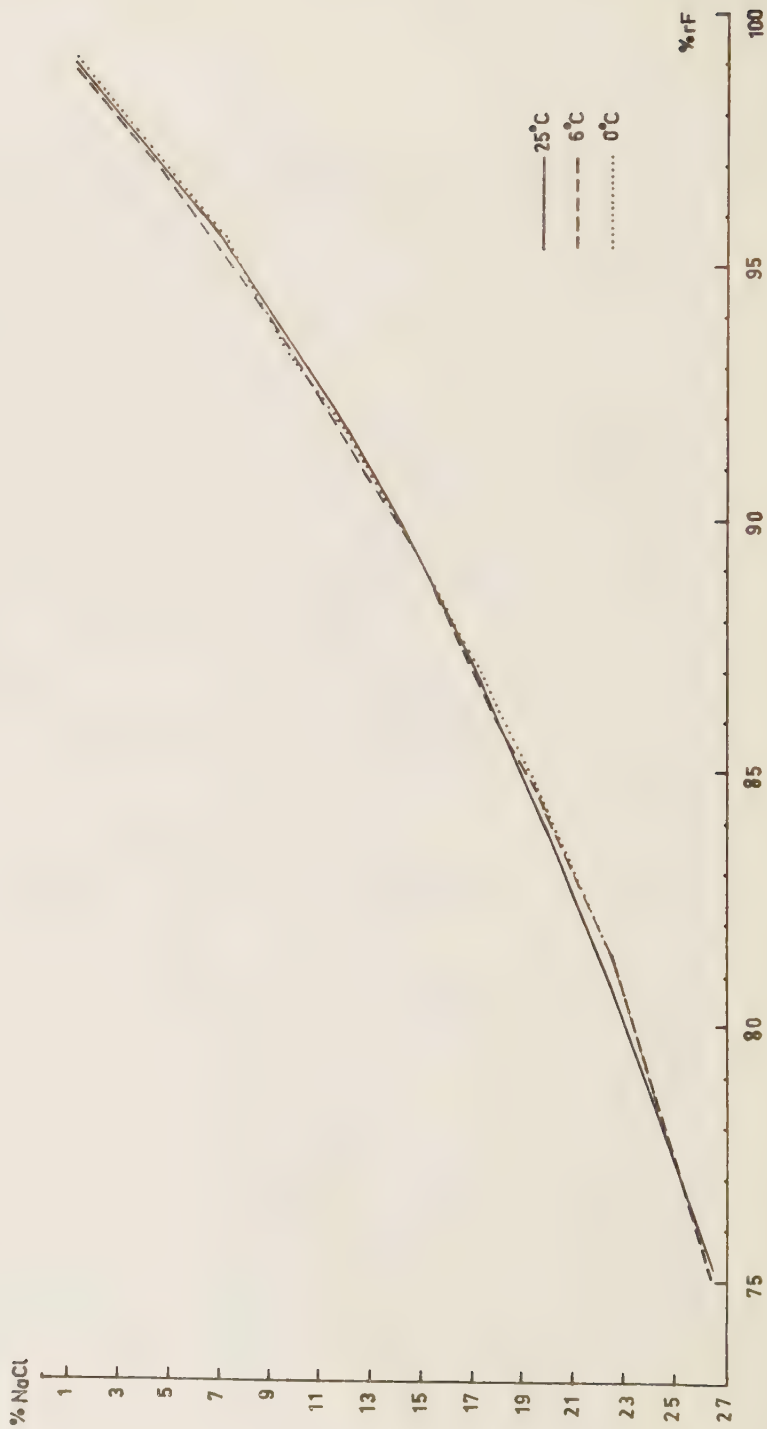
der Pufferlösung (MERCK, Darmstadt) pH 6,00 (Citrat-Natronlauge). Auf die Einstellung der Temperaturkompensation am Meßgerät auf 0 °C war zu achten.

3.2.3.5 a_w-Wert

Wie die Meßanordnung zur Bestimmung des Oberflächen-a_w-Wertes von Fleisch entwickelt worden ist, wird im Abschnitt 3.3 mitgeteilt, da es sich um ein wichtiges Ergebnis der vorliegenden Arbeit handelt. In diesem Abschnitt wird allgemein die Eichung von a_w-Meßgeräten beschrieben, da es sich dabei um eine wesentliche Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit dieser Geräte handelt. Diese Methodik zur Eichung ist sowohl für die Geräte eingesetzt worden, mit denen die relative Luftfeuchtigkeit (Luftfühler LG von ROTRONIC, Zürich) oder der a_w-Wert von Fleisch-erzeugnissen (Sensoren von NOVASINA, Zürich) oder der Oberflächen-a_w-Wert von Fleisch (Evaporimeter von SERVOMED, Stockholm, und Spezialfeuchtefühler von DMP-DEBRUNNER, Zürich) gemessen worden ist.

Die genannten Meßgeräte wurden im Wasseraktivitäts-Bereich 0,75 bis 0,99 gegen mindestens fünf Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration geeicht. Hierzu dienten wasserdampfdichte Eichvorrichtungen, die aus der Meßschale und dem Meßkopf bestanden. Die Eichschalen faßten ca. 10 ml der betreffenden Eichlösung. Eichschalen, Meßkopf und Eichlösung wurden vor jeder Eichmessung auf die betreffende Meßtemperatur temperiert. Das Ablesen des Meßergebnisses erfolgte, nachdem nach ca. 3 bis 4 Stunden am geradlinigen Verlauf des 12-Kanal-Punkte-Schreibers die Einstellung des Feuchtegleichgewichtes in der Meßvorrichtung erkennbar war. Die Eichmessungen wurden in dem unter 3.1.2.1 vorgestellten Kälte-Wärme-Klimaprüf-schrank bei + 25 °C und der relativen Luftfeuchtigkeit durchgeführt, die dem a_w-Wert der betreffenden Eichlösung entsprach. Die Feuchtefühler wurden zusätzlich bei den Temperaturen 20 °, 15 °, 10 °, 5 ° und ± 0 °C geeicht. Die Eichmessungen wurden nach jedem Versuchsdurchgang, spätestens jedoch alle 14 Tage, vorgenommen. Die für jeden Feuchtefühler angefertigten Eichkurven mußten nach jedem Eichmeß-Durchgang, falls Abweichungen

Abbildung 3: α_w -Werte (rF %) von Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration bei verschiedenen Temperaturen



vorlagen, erneuert werden. Die a_w -Werte der Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration und bei verschiedenen Temperaturen wurden der Abbildung 3 entnommen. Der Abbildung liegen die Angaben von LINGE (1929) und von ROBINSON und STOKES (1959) zu Grunde. Wegen des starken Hysterese-Effektes der kapazitiven Elemente des Feuchtefühlers der Firma Servomed war es erforderlich, den Feuchtefühler vor jeder Messung über Calciumchlorid auf Feuchtigkeitswerte unter 10 % rf herunterzutrocknen.

3.3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt wird zunächst das Ergebnis der Entwicklung einer Meßanordnung zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch mitgeteilt, sodann die mit dieser Meßanordnung bei Schlachttierkörpern und in Modellversuchen erzielten Ergebnisse sowie schließlich die Ergebnisse der Beeinflussung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch.

3.3.1 Entwicklung einer Meßanordnung zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch

In diesem Zusammenhang wurden Vorversuche durchgeführt, die nicht zu befriedigenden Ergebnissen führten. Daher wurden spezielle Meßgeräte erprobt und entwickelt, die dann in den Hauptversuchen überprüft worden sind.

3.3.1.1 Vorversuche

Zunächst wurden ca. 1 bis 2 mm dicke Proben der unter 3.1 genannten Oberflächen-Regionen 24, 48, 72, 96 und 120 Stunden nach der Schlachtung von Rinderhälften entnommen. Es wurde jeweils so viel Probenmaterial mit Skalpell abpräpariert, bis das Fassungsvermögen von 10 ml der Kunststoffschalen für den SINA-Sensor erreicht war. Die Kunststoffschalen wurden nach der Füllung wasserdampfdicht verschlossen und bis zur a_w -Wert-Messung kühl aufbewahrt. Die a_w -Wert-Messung dieser Proben erfolgte

mit Sensoren des Sina-Scope Servoinstruments (NOVASINA, Zürich) bei + 25 °C. Die a_w -Wert-Bestimmungen der abpräparierten Proben ergaben ohne Unterschiede zwischen den Kühllagerungszeiten der Rinderhälften nach der Schlachtung und den untersuchten Oberflächen-Regionen a_w -Werte zwischen 0,990 bis 0,985.

Weiterhin wurde versucht, den Oberflächen- a_w -Wert der unter 3.1 beschriebenen Oberflächen-Regionen durch Aufsetzen der Novasina-Sensoren zu ermitteln. Die Sensoren wurden mit einem Kunststoffring versehen, so daß die Meßstelle wasserdampfdicht seitlich durch den Kunststoff-ring und nach oben hin durch den Sensor selbst abgedichtet war. Die verwendeten Rindfleischproben waren vorher bei + 1 °C drei Tage einer Luftbewegung von 3,5 m/sec ausgesetzt gewesen und wiesen eine stark abgetrocknete Oberfläche auf. Die Messungen wurden im unter 3.1.2.1 beschriebenen Kälte-Wärme-Klimaprüfschrank bei + 2 °C und 90 % rF durchgeführt. Wiederum wurden a_w -Werte zwischen 0,990 und 0,985 ermittelt. Allerdings machte sich die Oberflächengewebeart insofern bemerkbar, als ein feststehender a_w -Endwert umso später erreicht wurde, je dicker die Schicht von Bindegewebe oder Fett über der darunterliegenden Muskulatur war. So stellten sich bei der Oberflächen-Gewebeart "unversehrte Muskulatur" nach 4 Stunden die genannten a_w -Werte ein, während bei der Oberflächen-Gewebeart "Faszie über Fett" dieses erst nach 10 Stunden der Fall war.

3.3.1.2 Geräteentwicklung

Aus den Versuchen mußte gefolgert werden, daß ein neues Meßprinzip angewendet werden muß. Es wurde nun angestrebt, die Messung des Oberflächen- a_w -Wertes "dynamisch" durchzuführen, d. h. auch während des Meßvorganges sollte der gleiche Wasserdampf-Austausch zwischen Oberflächenschicht und umgebender Luft möglich sein, wie er gegeben ist, solange sich die Oberflächenschicht noch in der natürlichen Verbindung zum Tierkörper befindet.

Ein ähnliches Meßprinzip liegt dem Evaporimeter Ep 1 (SERVOMED, Stockholm, siehe Abbildung 4) zu Grunde, das in der Humanmedizin zur Messung der Verdunstungsgeschwindigkeit der Haut verwendet wird. Dieses Gerät ist ein kapazitives Hygrometer. Im Sensor des Gerätes (Abbildung 5) befinden sich im Abstand von einigen Millimetern zwei übereinander angeordnete Meßzellen. Jede Meßzelle ist ein Plättchen von 0,5 mm Dicke, 5 mm Länge und 3 mm Breite (Pfeil, Abb. 5). Die Plättchen sind ein Polymer, auf das zwei Kammelektroden aufgedampft sind. Dieses Polymer wirkt zwischen den beiden Kammelektroden als hygroskopisches Dielektrikum. Die Dielektrizitätskonstante des Polymers steigt mit der Aufnahme von Wassermolekülen aus der Luft an und bestimmt damit die elektrische Kapazität des Meßkondensators, der durch die Kammelektroden dargestellt ist. Die beiden Meßzellen sind in einem beiderseits offenen zylindrischen Rohr aus Teflon mit einer Höhe von 15,6 mm und einem Innendurchmesser von 12 mm untergebracht. Wird das Rohr mit der unteren Öffnung auf eine Oberfläche gelegt, dann befindet sich eine Meßzelle ca. 4 mm und die zweite ca. 8 mm über der Oberfläche. Die relative Luftfeuchtigkeit wird also an zwei Stellen gemessen. Der Sensor ist an ein digitales Anzeigegerät (Abbildung 4) angeschlossen, an dem die von jeder Meßzelle gemessene relative Luftfeuchtigkeit abzulesen ist, sowie die Verdunstungsgeschwindigkeit und die vorliegenden Partialdampfdrucke.

Die Eichmessungen (siehe 3.2.3.5) mit dem Evaporimeter ergaben, daß die mittlere Abweichung im a_w -Bereich 0,75 bis 0,99 und im Temperaturbereich $\pm 0^\circ$ bis $+ 25^\circ\text{C}$ der Meßzelle in 4 mm Höhe $\pm 0,0050 a_w$ -Einheiten und der Meßzelle in 8 mm Höhe von $\pm 0,0054 a_w$ -Einheiten beträgt. Weiterhin ergab sich, daß bei Temperaturen unter $+ 25^\circ\text{C}$ von diesem Gerät niedrigere a_w -Werte angezeigt werden. Dabei hatte die Meßzelle in 4 mm Höhe eine Minderanzeige von 0,00051 und die Meßzelle in 8 mm Höhe von 0,00056 a_w -Einheiten pro Grad Celsius Temperaturerniedrigung, die bei den Messungen berücksichtigt worden ist. Wie im Abschnitt 3.2.3.5 angedeutet, zeigten adsorptive und desorptive Messungen im Klimaschrank, daß die Meßzellen



Abbildung 4: Evaporimeter Ep 1 (SERVOMED, Stockholm)

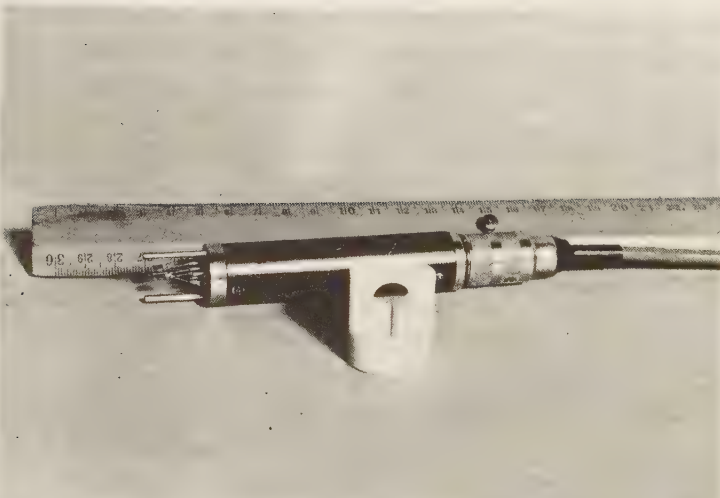


Abbildung 5: Sensor des Evaporimeters EP 1 (SERVOMED, Stockholm)

des Evaporimeters einen starken Hysteresis-Effekt haben, und zwar beträgt er 0,025 a_w -Einheiten im Feuchtigkeitsbereich 80 bis 90 % rF. Daher mußte der Fühler unmittelbar vor jeder Messung unter 10 % rF heruntergetrocknet werden.

Da sich das Evaporimeter für die Messung des oberflächlichen a_w -Wertes von Fleisch nicht als optimal in der Handhabung erwies, wurde gemeinsam mit der Fa. DEBRUNNER (Zürich) ein Spezialfühler entwickelt, der an das Anzeigegerät ROTRONIC HYGROSKOP D (Abbildung 6) angeschlossen wurde. Das hatte zudem den Vorteil, daß die Meßergebnisse des einen Gerätes durch die Ergebnisse des zweiten Gerätes abgesichert werden konnten. Der Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich) wurde nach eigenen Vorstellungen für die Messung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch konzipiert, nachdem Versuche in konditionierter, nicht bewegter Luft mit Feuchtigkeitssensoren (NOVASINA, Zürich) ergaben, daß, je dichter ein Sensor an eine Probe mit bekanntem a_w -Wert gebracht wird, umso mehr sich der Anzeigewert dem Wasseraktivitätswert der Probe nähert. Aus diesen Beobachtungen resultierte die Forderung, daß ein für die Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes geeigneter Sensor eine Meßzelle in nur geringer Höhe über der Probenoberfläche besitzen und die Meßstelle von einer **störenden** Luftbewegung freihalten muß. Der Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich) ist ein elektrolytischer Sensor. Die Meßzelle befindet sich bei dem auf eine Oberfläche aufgesetzten Sensor in einem Abstand von 8 mm von der Probenoberfläche innerhalb eines beiderseits offenen zylindrischen Rohres mit einem Innendurchmesser von 34 mm und einer Höhe von 29 mm (Abbildung 7). Der Meßzelle mit den Ausmaßen 11 x 6,2 x 3,5 mm ist eine hygroskopische elektrolytartige Substanz zwischen zwei Elektroden eingelagert. Der Elektrolyt ändert seine Impedanz mit der angebotenen Feuchtigkeit der Luft. An dem digital anzeigenden Hygroskop D (ROTRONIC, Zürich) kann die vom Fühler gemessene relative Luftfeuchtigkeit abgelesen werden (Abbildung 6). Die Eichmessungen (siehe 3.2.3.5) des Spezialfeuchtefühlers (DMP-DEBRUNNER, Zürich) ergaben, daß die mittlere Abweichung im a_w -Bereich 0,75 bis

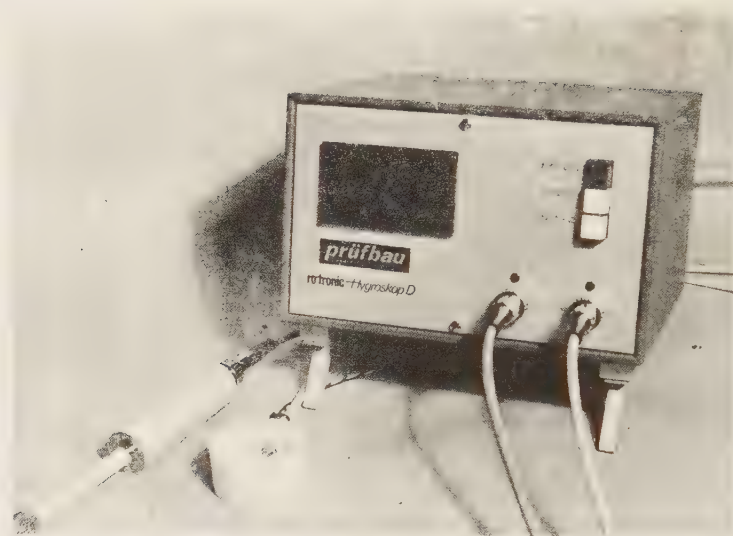


Abbildung 6: Hygroskop D (ROTRONIC, Zürich)

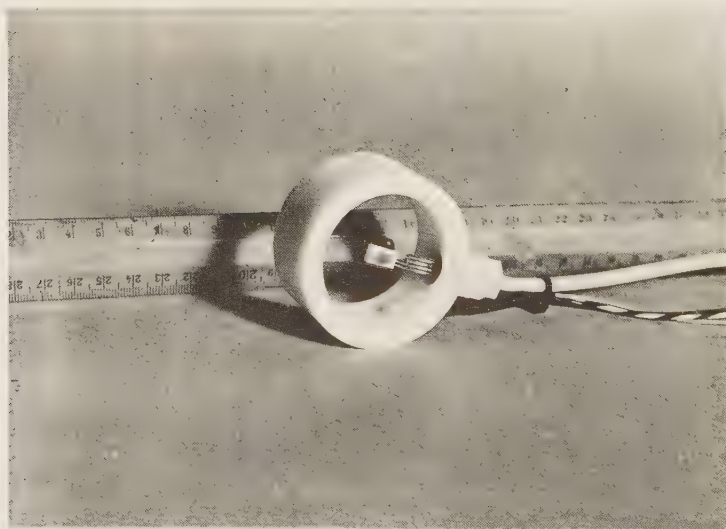


Abbildung 7: Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich)

0,99 und im Temperaturbereich $\pm 0^{\circ}$ bis $+ 25^{\circ}\text{C} \pm 0,0025 a_w$ -Einheiten beträgt. Bei Temperaturen unter $+ 25^{\circ}\text{C}$ wurden von diesem Gerät höhere a_w -Werte angezeigt. Die Mehranzeige des Sensors war $0,00023 a_w$ -Einheiten pro Grad Celsius Temperaturerniedrigung und wurde bei den Messungen berücksichtigt. Adsorptive und desorptive Messungen im Klimaschrank zeigten, daß der Fühler keinen meßbaren Hysteresis-Effekt hat.

3.3.1.3 Standardmessungen

Oberflächen mit bekanntem a_w -Wert wurden geschaffen, indem 250 ml-Bechergläser randvoll mit Salzsclammen von Kaliumdichromat, Kaliumsulfat, Kaliumnitrat oder Bariumchlorid gefüllt wurden. Auf die Oberfläche der in den Bechergläsern aufbewahrten Salzsclamme wurde der Spezialfeuchtefühler der Firma DMP-DEBRUNNER sowie der Feuchtefühler der Firma SERVOMED aufgesetzt. Die obere Öffnung der zylindrischen Rohre der beiden Feuchtefühler wurde mit einem wasserdampfdurchlässigen Membranfilter der Firma SARTORIUS abgedeckt. Hierdurch war gewährleistet, daß in dem Lumen der zylindrischen Rohre ein von Luftbewegung ungestörter Austausch von Wassermolekülen entsprechend dem Wasserdampfdruck-Gefälle zwischen der Probenoberfläche und der umgebenden Luft stattfand. Diese Meßanordnung war in dem Kälte-Wärme-Klimaprüfschrank (WEISS, Gießen) aufgebaut. Über der Probenoberfläche wurde die relative Luftfeuchtigkeit in der gegebenen Meßhöhe der beiden Feuchtefühler (8 mm über der Probenoberfläche bei dem Sensor der Firma DMP-DEBRUNNER und 4 sowie 8 mm bei dem Sensor der Firma SERVOMED) gemessen und auf dem 12-Kanal-Punkt-Schreiber (HARTMANN und BRAUN) registriert. Gleichzeitig wurde außerhalb der zylindrischen Rohre die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft in der Höhe der Zylinder (29 mm beim Sensor der Firma DMP-DEBRUNNER und 15,6 mm beim Sensor der Firma SERVOMED) mit dem Luftfühler LG der Firma ROTRONIC gemessen und auf dem 12-Kanal-Punkt-Schreiber registriert. Die Messungen der relativen Luftfeuchtigkeit in den entsprechenden Höhen über der Oberfläche der Salzsclamme wurden bei $+ 25^{\circ}\text{C}$ und 75 %, 80 %, 85 %, 90 %, 95 % sowie 98 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt.

Der a_w -Wert der Salzschlammte beträgt 0,98 für $K_2Cr_2O_7$, 0,973 für K_2SO_4 , 0,9248 für KNO_3 und 0,9019 für $BaCl_2$. Diesen a_w -Werten liegen die Angaben von ROBINSON und STOKES (1959) zu Grunde. Sie konnten durch die uns zur Verfügung stehenden a_w -Wert-Meßsysteme überprüft und bestätigt werden. Eine wichtige Voraussetzung für die gleichmäßige Verteilung des entsprechenden Wasserdampfteildruckes und damit der entsprechenden Wasseraktivität in allen Schichten des Salzschlammes ist die Benetzung aller Salzkristalle mit entionisiertem Wasser.

Zur Überprüfung der Methode bei Kühltemperaturen, bei denen die a_w -Werte von Salzschlamm in der Literatur widersprüchlich angegeben werden, wurden als Proben mit bekanntem Oberflächen- a_w -Wert die frischen Anschnittflächen von Fleisch und Fleischerzeugnissen im a_w -Wert-Bereich von 0,99 bis 0,85 herangezogen. Vor jeder Messung der relativen Luftfeuchtigkeit in den genannten Höhen über der Oberfläche dieser Proben bei $\pm 0^\circ C$ und 75 %, 80 %, 85 %, 90 %, 95 % sowie 98 % relativer Luftfeuchtigkeit wurde der a_w -Wert der Proben sowohl mit dem unter 3.1.4.1 beschriebenen Hygrometer der Firma NOVASINA sowie parallel dazu mit anderen uns zur Verfügung stehenden Meßsystemen der Firma EG&G (Waltham, USA) und ROTRONIC (Zürich) ermittelt.

Bei jedem der angegebenen Meßklimata im Klimaprüfschrank wurden die entsprechenden Luftfeuchtigkeitswerte über den unterschiedlichen Probenoberflächen abgelesen, nachdem nach ca. 30 Minuten am geradlinigen Verlauf des 12-Kanal-Punkt-Schreibers die Einstellung eines Gleichgewichtes im Meßsystem erkennbar war. Die Meßergebnisse wurden in ein Koordinatensystem eingetragen, dessen x-Achse den Meßabstand von der Probenoberfläche in mm und dessen y-Achse die relative Luftfeuchtigkeit in % rF über der Probenoberfläche darstellt (Abbildung 8). Die Messungen über den Salzschlamm bzw. über Fleisch und Fleischerzeugnisse mit dem Spezialfeuchtefühler der Firma DMP-DEBRUNNER und dem Feuchtefühler der Firma SERVOMED ergaben, daß die Feuchtigkeitswerte in der betreffenden Meßhöhe der beiden Sensoren zwischen dem a_w -Wert

der Probe und dem Wert der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft lagen. War das Wasserdampfdruck-Gefälle von der Probenoberfläche zur umgebenden Luft gerichtet, so war die relative Luftfeuchtigkeit in der betreffenden Meßhöhe niedriger als die Oberflächenwasseraktivität und höher als die relative Luftfeuchtigkeit der umgebenden Luft. Lag jedoch ein Wasserdampfdruck-Gefälle von der umgebenden Luft zur Oberfläche der Probe vor, war die relative Luftfeuchtigkeit in der betreffenden Meßhöhe höher als die Oberflächenwasseraktivität und niedriger als die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft. Beim Vorliegen eines Wasserdampfdruck-Gleichgewichtes waren die relative Luftfeuchtigkeit in der betreffenden Meßhöhe, die Oberflächenwasseraktivität und die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft identisch. Tabelle 6 stellt die Meßergebnisse des Spezialfeuchtefühlers (DMP-DEBRUNNER, Zürich) sowie des Evaporimeters Ep 1 (SERVOMED, Stockholm) auf Proben mit bekanntem Oberflächen- a_w -Wert (Salzschlamm, Fleischerzeugnisse, Fleisch) und bei unterschiedlichen relativen Luftfeuchtigkeitswerten der umgebenden Luft vor. Die Eintragung der in Tabelle 6 vorgestellten Meßergebnisse in das Koordinatensystem ergab, daß die tatsächliche Meßhöhe des Spezialfeuchtefühlers (DMP-DEBRUNNER) 7,9 mm, der einen Meßzelle des Evaporimeters (SERVOMED) 3,7 mm und der zweiten Meßzelle 8,3 mm beträgt. Abbildung 8 stellt Beispiele der Eintragung der Meßergebnisse in das Koordinatensystem in Abhängigkeit von der Meßanordnung dar. In der Höhe von 29 mm (DMP-DEBRUNNER) und in der Höhe von 15,6 mm (SERVOMED) liegt die ermessene relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung. Die Feuchtigkeit in der Höhe 0 mm ist durch den a_w -Wert der Oberfläche (Salzschlamm bzw. Fleischware) gegeben. Der Schnittpunkt der gestrichelten Linie mit der Verbindungsstrecke AB von der Feuchtigkeit in Höhe der zylindrischen Rohre (29 bzw. 15,6 mm) bis Feuchtigkeit in 0 mm bedeutet die von den Sensoren zur Ermittlung des Oberflächen- a_w -Wertes ermessene relative Luftfeuchtigkeit in der für die Meßanordnung typischen Höhe über der Probenoberfläche. In den drei Beispielen hat der Oberflächen- a_w -Wert jeweils 0,973 betragen und die Luftfeuchtigkeit (Außenfeuchtigkeit) 90 % rF.

Tabelle 6: Gemessene relative Luftfeuchtigkeit in einer Höhe von 7,9 mm und von 3,7 mm sowie 8,3 mm über Probenoberflächen mit bekanntem a_w -Wert bei unterschiedlich eingestellter relativer Luftfeuchtigkeit

	Oberflächen- a_w -Wert vorhanden in % rF	Feuchtigkeit in 7,9 mm gemessen* in % rF	Feuchtigkeit in 3 mm gemessen** in % rF	Feuchtigkeit in 8,3 mm gemessen** in % rF	Außen- feuchtigkeit eingestellt auf % rF
$K_2Cr_2O_7$ -Schlamm	98,0	91,6	91,4	85,5	75,0
	98,0	93,2	92,9	88,0	80,0
	98,0	94,4	94,7	91,0	85,0
	98,0	95,8	96,4	93,4	90,0
	98,0	97,0	97,4	96,5	95,0
K_2SO_4 -Schlamm	97,3	91,2	91,1	84,9	75,0
	97,3	92,5	92,5	87,7	80,0
	97,3	93,9	94,5	91,0	85,0
	97,3	95,3	95,7	93,6	90,0
	97,3	96,6	96,9	96,1	95,0
KNO_3 -Schlamm	92,48	88,7	87,7	83,4	75,0
	92,48	89,6	89,3	86,0	80,0
	92,48	90,7	91,1	89,0	85,0
	92,48	91,8	92,2	91,5	90,0
	92,48	93,2	92,7	93,8	95,0
$BaCl_2$ -Schlamm	90,19	86,6	87,0	81,9	75,0
	90,19	87,8	88,7	84,5	80,0
	90,19	88,8	89,2	87,4	85,0
	90,19	90,2	90,2	90,1	90,0
	90,19	91,5	91,2	92,6	95,0
Rohwurst	88,6	84,9	85,4	81,8	75,0
	88,6	86,3	86,1	83,7	80,0
	88,6	87,0	87,6	86,6	85,0
	88,6	89,0	89,0	89,4	90,0
Rohwurst	85,3	82,5	82,7	80,1	75,0
	85,3	83,8	84,3	82,4	80,0
	85,3	85,2	85,2	85,1	85,0
	85,3	86,6	86,4	88,0	90,0

* Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich)

** Fühler des Evaporimeters (SERVOMED, Stockholm)

Der Abbildung 8a, die dem Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER) mit einer Meßhöhe von 7,9 mm entspricht, wurden 95,3 % rF angezeigt. Den Abbildungen 8b und 8c, die dem Fühler der Firma SERVOMED und einer Meßhöhe von 3,7 bzw. 8,3 mm entsprechen, wurden unter den gleichen Klimabedingungen 95,7 bzw. 93,6 % rF angezeigt.

Abbildung 8: Graphische Darstellung des Meßprinzips

Aus der Abbildung 8 ist ersichtlich, daß zur Ermittlung des Oberflächen- α_w -Wertes bei Vorliegen der Werte der relativen Luftfeuchtigkeit in Zylinderhöhe sowie in der betreffenden Meßhöhe der Sensoren der zweite Strahlensatz $\overline{AB} : \overline{A'B'} = \overline{SA} : \overline{S'A'}$ anwendbar ist:

$$\frac{\text{Feuchtigkeit}_{\text{Oberfläche}} - \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderende}}}{\text{Feuchtigkeit}_{\text{Meßhöhe}} - \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderende}}} = \frac{\text{Zylinderhöhe (mm)}}{\text{Zylinderhöhe} - \text{Meßhöhe (mm)}}$$

Wenn nach Feuchtigkeit_{Oberfläche} als Unbekannte aufgelöst und sowohl die betreffende Zylinderhöhe als auch die betreffende Meßhöhe in mm eingesetzt werden, ergibt sich für den Spezialfeuchtefühler (DMP-

$$\begin{aligned} \text{DEBRUNNER):} \quad \text{Feuchtigkeit}_{\text{Oberfläche}} &= \\ &(\text{Feuchtigkeit}_{\text{Meßhöhe}} - \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}}) \times 1,375 \\ &+ \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}} \end{aligned}$$

Setzt man diese Gleichung als Beispiel die Werte für den Spezialfeuchtefühler (DEBRUNNER), wie in Abbildung 8a angegeben, ein, dann ergibt sich: $x = (95,3 - 90,0) \times 1,375 + 90,0 = 97,29$ bzw. $\alpha_w 0,973$.

Für den Fühler 3,7 mm (SERVOMED)

$$\begin{aligned} \text{Feuchtigkeit}_{\text{Oberfläche}} &= \\ &(\text{Feuchtigkeit}_{\text{Meßhöhe}} - \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}}) \times 1,308 \\ &+ \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}} \end{aligned}$$

Durch Einsetzen der in Abbildung 2b angegebenen Werte für die Meßzelle 1 (SERVOMED) ergibt sich:

$$x = (95,7 - 90,0) \times 1,308 + 90,0 = 97,46 \text{ bzw. } a_w 0,975.$$

Für den Fühler 8,3 mm (SERVOMED):

$$\begin{aligned} & \text{Feuchtigkeit}_{\text{Oberfläche}} = \\ & (\text{Feuchtigkeit}_{\text{Meßhöhe}} - \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}}) \times 2,151 \\ & + \text{Feuchtigkeit}_{\text{Zylinderhöhe}} \end{aligned}$$

Durch Einsetzen der in Abbildung 8c angegebenen Werte für die Meßzelle 2 (SERVOMED) ergibt sich:

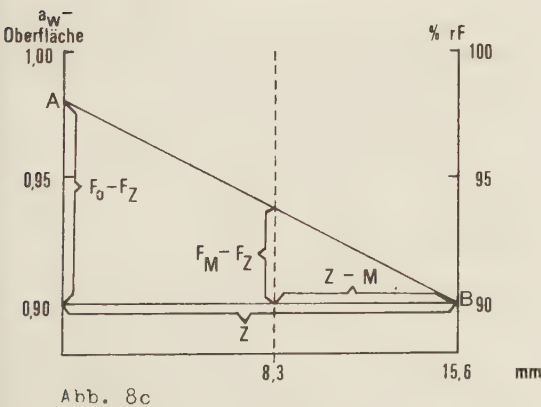
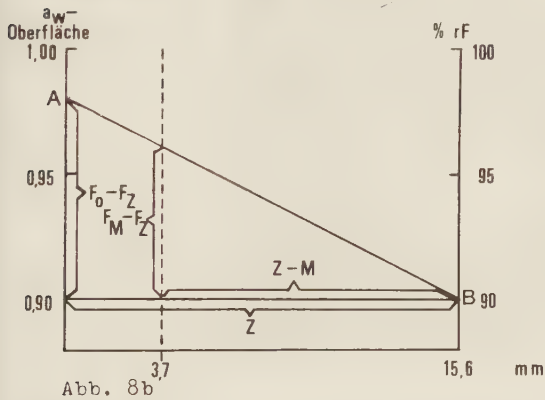
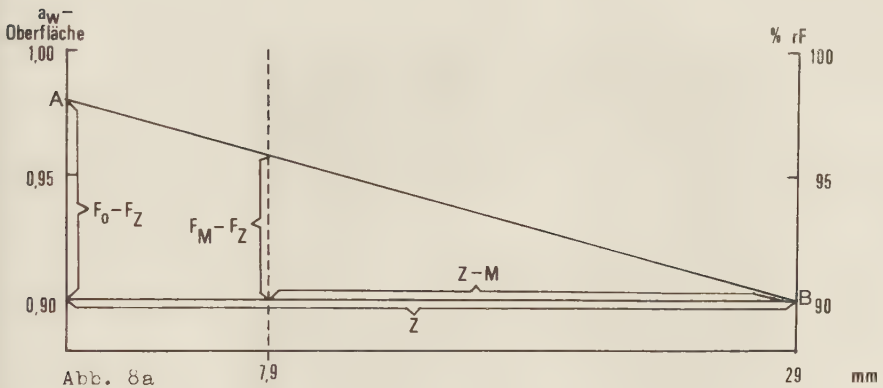
$$x = (93,6 - 90,0) \times 2,151 + 90,0 = 97,74 \text{ bzw. } a_w 0,977.$$

Die Kontrollmessungen gegen Oberflächen mit bekanntem a_w -Wert ergaben eine mittlere Abweichung dieser Methode vom vorhandenen a_w -Wert von $\pm 0,0027 a_w$ -Einheiten bei dem Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER), von $\pm 0,0052 a_w$ -Einheiten bei dem Fühler 3,7 mm (SERVOMED) und von $\pm 0,0056 a_w$ -Einheiten bei dem Fühler 8,3 mm (SERVOMED). Zur größeren Sicherheit wurde für die nachfolgenden Versuche nicht diese recht geringe mittlere Abweichung zugrunde gelegt, sondern ein Meßfehler, der aus der Addition des größten Fehlers des Luftfühlers (ROTRONIC) und des Spezialfeuchtefühlers (DMP-DEBRUNNER) bzw. der Fühler des Evaporimeters resultierte. Hieraus folgt eine Abweichung der Methode bei Verwendung des Spezialfeuchtefühlers (DMP-DEBRUNNER) von $\pm 0,012 a_w$ -Einheiten, bei Verwendung des Fühlers 3,7 mm (SERVOMED) von $\pm 0,013 a_w$ -Einheiten und bei Verwendung des Fühlers 8,3 mm (SERVOMED) von $\pm 0,026 a_w$ -Einheiten. Der damit angenommene Meßfehler wird beim Fühler 8,3 mm (SERVOMED) als zu groß angesehen. Die Meßergebnisse dieses Fühlers wurden daher nicht bei der Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes herangezogen.

3.3.1.4 Hauptversuche

Nach dem beschriebenen Prinzip wurden im Kühlraum Feuchtigkeitsmessungen

Abbildung 8: Graphische Darstellung des Meßprinzips



F_0 = Oberflächenfeuchtigkeit
 F_M = Feuchtigkeit in Meßhöhe
 F_Z = Feuchtigkeit in Zylinderhöhe
 Z = Zylinderhöhe in mm
 M = Meßhöhe in mm

Abb. 8a: Spezialfeuchtefühler
(DEBRUNNER)

Abb. 8b: Meßzelle 1 des Evaporimeters (SERVOMED)

Abb. 8c: Meßzelle 2 des Evaporimeters (SERVOMED)

in den entsprechenden Meßhöhen an hängender Schlachttierkörpern vorgenommen (Praxisversuche). Hierzu mußten ebenfalls die Feuchtefühler durch eine in der Abbildung 9 dargestellte Vorrichtung an den vertikalen Oberflächen der Schlachttierkörper befestigt werden. Die Messungen wurden auch im Kühlraum auf dem 12-Kanal-Punkt-Schreiber registriert. Aus den Ergebnissen der Feuchtigkeitsmessungen in den entsprechenden Meßhöhen konnten die a_w -Werte der Oberflächengewebe in der beschriebenen Weise errechnet werden. Bei den Untersuchungen im Klimaprüfschrank (Modellversuche und Beeinflussung) an Proben der Oberflächengewebe wurden die Feuchtefühler ohne besondere Befestigungsmaßnahmen auf die horizontalen Oberflächen aufgesetzt.

3.3.2 Ergebnisse des Praxisversuches

In diesem Abschnitt sollen sowohl die gemessenen klimatischen Daten des Fleischkühlraumes, als auch die ermittelten physikalischen Parameter der Oberfläche von Schlachttierkörpern vorgestellt werden.

3.3.2.1 Klima des Kühlraumes

In Tabelle 7 sind die Mittelwerte sowie die Schwankungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit aufgeführt, die an der Stelle der Grenzgeber am Pfeiler des Kühlraums während der fünf Wochentage gemessen wurden, an denen jeweils im Verlauf von einem Monat die Untersuchungen durchgeführt worden sind.

Die Tabelle 8 stellt die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in einem und in drei Zentimetern über der Oberfläche der Schlachttierkörper während des fünftägigen Untersuchungszeitraumes vor. Vom 1. bis 3. Tag beziehen sich die Ergebnisse auf Rinder und Schweine, am 4. und 5. Tag nur auf Rinder. Die Tabelle enthält zusätzlich die Standardabweichung (s) und den Variationskoeffizienten ($CV \%$).



Abbildung 9: Messung des oberflächlichen a_w -Wertes von Schlachttierkörpern mit Feuchtefühlern, die durch eine Aufhängung befestigt wurden

Tabelle 7: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Kühlraumluft während der fünf Wochentage, an denen die Untersuchungen durchgeführt wurden

Wochentage		Do	Fr	Sa	So	Mo
Beobachtungszeitraum		1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Mittel °C		+ 0,25	- 0,80	- 0,89	- 0,70	- 0,90
Schwankung °C	von	+ 2,00	- 0,30	- 0,18	+ 0,10	- 0,80
	bis	- 1,50	- 1,30	- 1,60	- 1,50	- 1,00
Mittel rF %		86,9	83,1	82,8	73,3	88,4
Schwankung rF %	von	92,1	86,9	88,6	84,7	93,9
	bis	81,7	79,2	77,0	61,9	82,9

Tabelle 8: Relative Luftfeuchtigkeit in 1 und 3 Zentimetern über den Schlachttierkörper-Oberflächen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes

Wochentage	Do		Fr		Sa		So		Mo	
Beobachtungs- zeitraum	1. Tag		2. Tag		3. Tag		4. Tag		5. Tag	
Abstand zur Oberfläche in cm	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Mittel rF %	95,0	93,5	96,3	94,5	94,2	90,1	94,2	89,2	95,5	92,0
n	20	20	18	18	16	16	15	15	15	15
s	0,95	2,10	1,80	2,48	2,43	5,08	1,38	3,36	0,62	1,21
CV %	2,21	2,25	1,87	2,62	2,58	5,64	1,46	3,76	0,65	1,32

Unter Zugrundelegung des Mittels sämtlicher Werte für die relative Feuchtigkeit in 3 und 1 cm Abstand von der Fleischoberfläche sowie der gemessene a_w -Wert auf den Fleischoberflächen, ausgedrückt als relative Feuchtigkeit, ergibt sich, wie in Abbildung 10 dargestellt, daß die Schlachttierkörper von einem Feuchtigkeitfeld umgeben waren. Wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist, lag um die Tierkörperhälften eine mit zunehmendem Abstand von der Fleischoberfläche abnehmende relative Luftfeuchtigkeit vor, die über dem Mittel der relativen Luftfeuchtigkeit des Kühlraumes (siehe Tabelle 7) lag. Am und zwischen dem Kühlgut war keine Luftbewegung meßbar. Nur bei laufenden Radiatoren konnte eine Luftgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,5 m/sec am und zwischen dem Kühlgut ermittelt werden. Die Radiatoren wurden bei Überschreiten eines Temperaturmaximums der Kühlraumluft automatisch eingeschaltet und liefen 3-bis 4mal täglich jeweils 2 bis 3 Minuten. Während der Laufzeit der Radiatoren konnte das Feuchtigkeitfeld an den Schlachttierkörper-Oberflächen (wie in Abbildung 10 dargestellt) nicht beobachtet werden.

3.3.2.2 Temperatur, pH-Wert und a_w -Wert der Fleischoberfläche

Die ermittelten Temperaturen der Fleischoberfläche an den Untersuchungstagen werden in Tabelle 9 ohne Unterscheidung von Rind und Schwein sowie der einzelnen Oberflächengewebearten aufgeführt. Die Temperaturen der Fleischoberfläche bewegen sich meist im Mittel geringfügig oberhalb der Temperaturen der Kühlraumluft (Tabelle 7) und unterschritten nur am fünften Untersuchungstag das Mittel der Temperatur der Kühlraumluft etwas.

Abbildung 10: Feuchtigkeitsfeld an den Schlacht tierkörper-Oberflächen, das während des Aufenthaltes im Kühlraum in 0, 1 und 3 cm Abstand von der Oberfläche gemessen wurde

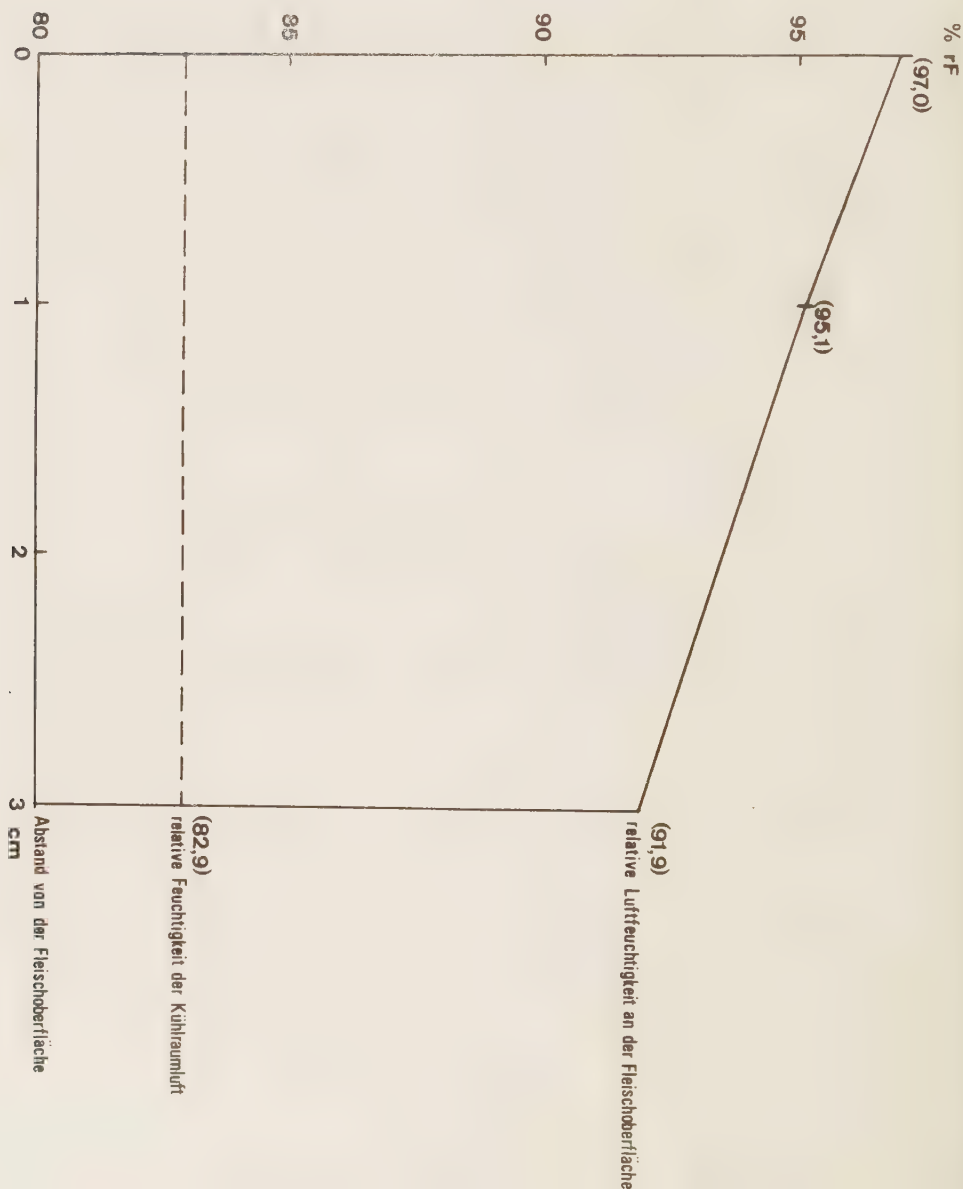


Tabelle 9: Temperatur von Schlachttierkörper-Oberflächen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Kühlraum

Wochentage	Do	Fr	Sa	So	Mo
Beobachtungszeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Mittel ($\bar{x}$) °C	+ 0,92	- 0,40	- 0,17	- 0,09	- 0,37
Min. °C	- 0,28	- 1,12	- 1,30	- 1,16	- 1,04
Schwankung Max. °C	+ 2,12	+ 0,32	+ 0,97	+ 0,98	+ 0,30

Tabelle 10 stellt die pH-Werte der Schlachttierkörper-Oberflächen während des Untersuchungszeitraumes, also vom 1. bis 5. Tag, post mortem vor. In dieser Tabelle sind die pH-Werte von Rind und Schwein getrennt aufgeführt und als Referenzwert zu den oberflächlich bei den verschiedenen Regionen bzw. Gewebearten gemessenen pH-Werten wird der pH-Wert in der Tiefe der Muskulatur aufgeführt. Bei der Region I wurde zwischen "Schnittfläche Muskulatur" und "Schnittfläche Fett" unterschieden. Die Regionen II bis V sind unter Abschnitt 3.1 und in Abbildung 2 erläutert worden. Die Tabelle 10 gibt die Mittelwerte und die Standardabweichung an. Beim Rind wurden die höchsten pH-Werte bei der "Faszie über Fett" (IV) ermittelt, gefolgt von "Schnittfläche Fett" (I), "unversehrte Muskulatur" (II), "Faszie über Muskulatur" (III) und "Schnittfläche Muskulatur" (I), wobei die letztere sich wesentlich weniger vom pH-Wert im Innern der Muskulatur unterscheidet als die übrigen Oberflächen-pH-Werte. Beim Schwein wurden die höchsten pH-Werte bei der "Schwarte" (V) gemessen, gefolgt von "Schnittfläche Fett" (I), "Faszie über Muskulatur" (III) und "Schnittfläche Muskulatur" (I), die wiederum nahe dem pH-Wert im Innern der Muskulatur lag. Dabei wurden die pH-Werte im Innern an den unter 3.2.3.4 beschriebenen Meßstellen ermittelt.

Tabelle 11 stellt die a_w-Werte der unter 3.1 beschriebenen Oberflächenregionen von Schlachttierkörpern während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Kühlraum vor. Diese Tabelle enthält Mittelwerte, Minimum

Tabelle 10: pH-Werte von Schlachttierkörpern von Rind und Schwein, innen und auf verschiedenen Oberflächengeweiben (I bis V) während des 1. bis 5. Tages post mortem

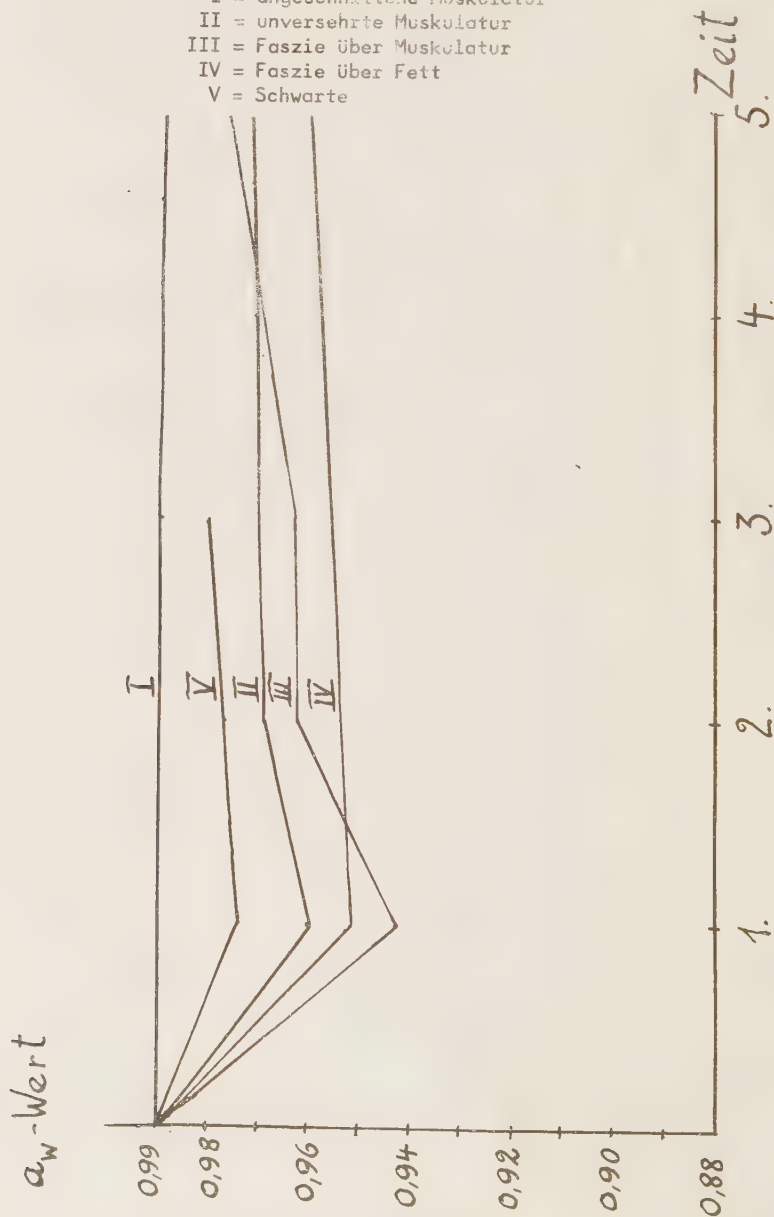
Wochentage			Do	Fr	Sa	So	Mo
Zeitraum			1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Rindfleisch	Innen Muskulatur	$\bar{x}$ n s	5,93 15 0,18	5,75 15 0,25	5,65 15 0,18	5,60 15 0,20	5,60 15 0,25
	I Schnittfläche Muskulatur	$\bar{x}$ n s	6,01 15 0,31	5,87 15 0,13	5,75 15 0,19	5,72 15 0,19	5,63 15 0,18
	I Schnittfläche Fett	$\bar{x}$ n s	7,96 15 0,42	7,79 15 0,32	7,30 15 0,18	7,32 15 0,20	7,04 15 0,20
	II unversehrte Muskulatur	$\bar{x}$ n s	7,32 15 0,34	6,99 15 0,25	6,21 15 0,49	6,01 15 0,32	5,87 15 0,28
	III Faszie über Muskulatur	$\bar{x}$ n s	6,86 15 0,17	6,74 15 0,21	6,25 15 0,49	6,21 15 0,20	6,05 15 0,18
	IV Faszie über Fett	$\bar{x}$ n s	8,05 15 0,24	8,01 15 0,39	7,90 15 0,30	7,87 15 0,28	7,33 15 0,32
Schweinefleisch	Innen Muskulatur	$\bar{x}$ n s	6,01 15 0,28	5,92 15 0,20	5,91 15 0,19	-	-
	I Schnittfläche Muskulatur	$\bar{x}$ n s	6,42 15 0,20	6,23 15 0,24	5,94 15 0,22	-	-
	I Schnittfläche Fett	$\bar{x}$ n s	7,75 15 0,56	7,29 15 0,18	7,18 15 0,47	-	-
	III Faszie über Muskulatur	$\bar{x}$ n s	7,18 15 0,27	7,01 15 0,14	6,80 15 0,19	-	-
	V Schwarte	$\bar{x}$ n s	8,23 15 0,20	7,99 15 0,46	7,34 15 0,32	-	-

Tabelle 11: a_w -Werte der Oberfläche von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach
x) nach Schlachtung und Schnellstabbkühlung

Wochentage		Do	Fr	Sa	So	Mo
Zeitraum		1. Tag ^{x)}	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
I angeschnittene Muskulatur (Rind u.Schwein)	$\bar{x}$	0,985	0,991	0,989	0,992	0,990
	Min.	0,976	0,983	0,980	0,983	0,983
	Max.	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997
	n	14	14	12	12	13
II unversehrte Muskulatur (Rind)	s	0,0058	0,0046	0,0055	0,0043	0,0046
	CV%	0,59	0,41	0,55	0,43	0,46
	$\bar{x}$	0,960	0,969	0,970	0,971	0,971
	Min.	0,933	0,943	0,951	0,947	0,944
III Faszie über Muskulatur (Rind u.Schwein)	Max.	0,987	0,995	0,994	0,995	0,997
	n	25	24	21	28	28
	s	0,0147	0,0146	0,0147	0,0136	0,0137
	CV%	1,53	1,51	1,52	1,41	1,41
IV Faszie über Fett (Rind)	$\bar{x}$	0,942	0,964	0,960	0,972	0,976
	Min.	0,905	0,944	0,932	0,946	0,966
	Max.	0,967	0,994	0,976	0,998	0,989
	n	28	28	21	26	21
V Schwarte (Schwein)	s	0,0183	0,0126	0,0135	0,0117	0,0069
	CV%	1,94	1,31	1,41	1,20	0,71
	$\bar{x}$	0,949	0,954	0,952	0,953	0,955
	Min.	0,904	0,937	0,900	0,917	0,910
	Max.	0,974	0,995	0,995	0,994	0,995
	n	28	28	25	21	21
	s	0,019	0,0136	0,0213	0,0287	0,0236
	CV%	1,96	1,42	2,24	3,01	2,47
	$\bar{x}$	0,976	0,977	0,979	-	-
	Min.	0,958	0,962	0,964	-	-
	Max.	0,995	0,992	0,992	-	-
	n	30	40	21	-	-
	s	0,0096	0,0066	0,0082	-	-
	CV%	0,98	0,67	0,84	-	-

Abbildung 11: Tendenz-Darstellung der a_w -Wert-Veränderung der Oberfläche von Schlacht tierkörpern im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach

- I = angeschnittene Muskulatur
- II = unversehrte Muskulatur
- III = Faszie über Muskulatur
- IV = Faszie über Fett
- V = Schwarte



und Maximum, Standardabweichung sowie Variationskoeffizienten der Wasseraktivität von Schlacht tierkörper-Oberflächen. Aus der Tabelle 11 sowie aus der Abbildung 11 ist ersichtlich, daß die niedrigsten Mittelwerte der Wasseraktivität bei allen Gewebearten bzw. Regionen am ersten Tag nach der Schlachtung vorlagen. Den geringsten mittleren a_w -Wert (0,943) wies die Gewebeart "Faszie über Muskulatur" (III) auf. In der Reihenfolge nach dem mittleren a_w -Wert folgt die Gewebeart "Faszie über Fett" (IV) mit dem a_w -Wert von 0,952, die Gewebeart "unversehrte Muskulatur" (II) mit dem a_w -Wert von 0,960 und die "Schwarte" (V) mit dem a_w -Wert von 0,974. Schnittflächen von Muskulatur oder Fettgewebe (I) der Rinder- und Schweinehälften wiesen den mittleren a_w -Wert von 0,985 am ersten Tag nach der Schlachtung auf. Die mittleren a_w -Werte der einzelnen Gewebearten am Ende des Beobachtungszeitraumes lagen höher als die mittleren a_w -Werte zu Beginn des Beobachtungszeitraumes (siehe Abbildung 11).

Mittels des t-Testes für zwei unabhängige Stichproben (KAISER, 1974) ließen sich die im Mittel höheren a_w -Werte nach 5 Tagen im Vergleich zum ersten Tag nach der Schlachtung für die Gewebearten "Schnittflächen von Muskulatur und Fett", "unversehrte Muskulatur" sowie "Faszie über Muskulatur" bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens $\alpha = 0,05$ statistisch sichern. Dagegen müssen die bei den Gewebearten "Faszie über Fettgewebe" und "Schwarte" aufgetretenen Unterschiede für das untersuchte Material noch als zufällig bewertet werden. Die Variationskoeffizienten (CV%) sind bei allen Gruppen (Gewebeart und Tage nach der Schlachtung) kleiner als 5 %. Das bedeutet, daß es sich bei den a_w -Werten aller in der Tabelle 11 aufgeführten Gruppen um ein homogenes Zahlenmaterial handelt.

3.3.3 Ergebnisse der Modellversuche

Im folgenden werden sowohl die klimatischen Daten des Prüfraumes des Präzisionsklimaschranks als auch die ermittelten physikalischen Parameter der Oberfläche von Proben der unter 3.1 beschriebenen Oberflächenregionen vorgestellt.

3.3.3.1 Klima des Prüfraumes

Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung konnten naturgemäß im Prüfraum des unter 3.1.2.1 beschriebenen Klimaschranks konstanter gehalten werden als dies im Kühlraum des Schlachthofes möglich war. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug während des gesamten Untersuchungszeitraumes $89,0 \% \text{ rF} \pm 2,0 \% \text{ rF}$, die Temperatur $+ 1,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ und die Luftgeschwindigkeit 0,1 bis 0,3 m/sec. Ein Feuchtigkeitfeld - wie unter 3.3.2.1 beschrieben - konnte aufgrund der Luftbewegung hier nicht ermittelt werden.

3.3.3.2 Temperatur, pH-Wert und a_w -Wert der Oberflächen von Proben

Die Temperatur der Oberflächen der Proben, die die 5 untersuchten Regionen (Abbildung 2) repräsentierten, war identisch mit der Temperatur der Prüfraumlufte und bewegte sich bei $+ 1,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Tabelle 12 enthält die mittleren pH-Werte sowie die Standardabweichung der Oberfläche von Proben der Oberflächenregionen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes, also vom 1. bis 5. Tag post mortem. Wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben, konnten in den Modellversuchen, im Gegensatz zum Schlachthof, die gleichen Proben während des Zeitraumes von 5 Tagen kontinuierlich untersucht werden. Da der Prüfraum des zur Verfügung stehenden Klimaschranks durch eingebaute Gummihandschuhe zu bedienen war, mußte bei den Messungen der Temperatur, des pH-Wertes und des a_w -Wertes das eingestellte Klima nicht gestört werden. Wie Tabelle 12 zeigt, haben die pH-Werte im Beobachtungszeitraum im allgemeinen abgenommen. Die niedrigsten pH-Werte wurden bei der Gewebeart "ange-

schnittene Muskulatur" (I) ermittelt, gefolgt von "Faszie über Muskulatur" (III), "unversehrte Muskulatur" (II), "Faszie über Fett" (IV) und "Schwarte" (V). Damit ergab sich die gleiche Reihenfolge, wie in den Praxisversuchen (3.3.2.2); auch die absoluten pH-Werte an den verschiedenen Untersuchungstagen unterschieden sich bei den jeweiligen Gewebearten in den Praxis- und den Modellversuchen nicht wesentlich.

Tabelle 12: Veränderung der pH-Werte der Oberflächen von Proben der 5 Oberflächenregionen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaschrank

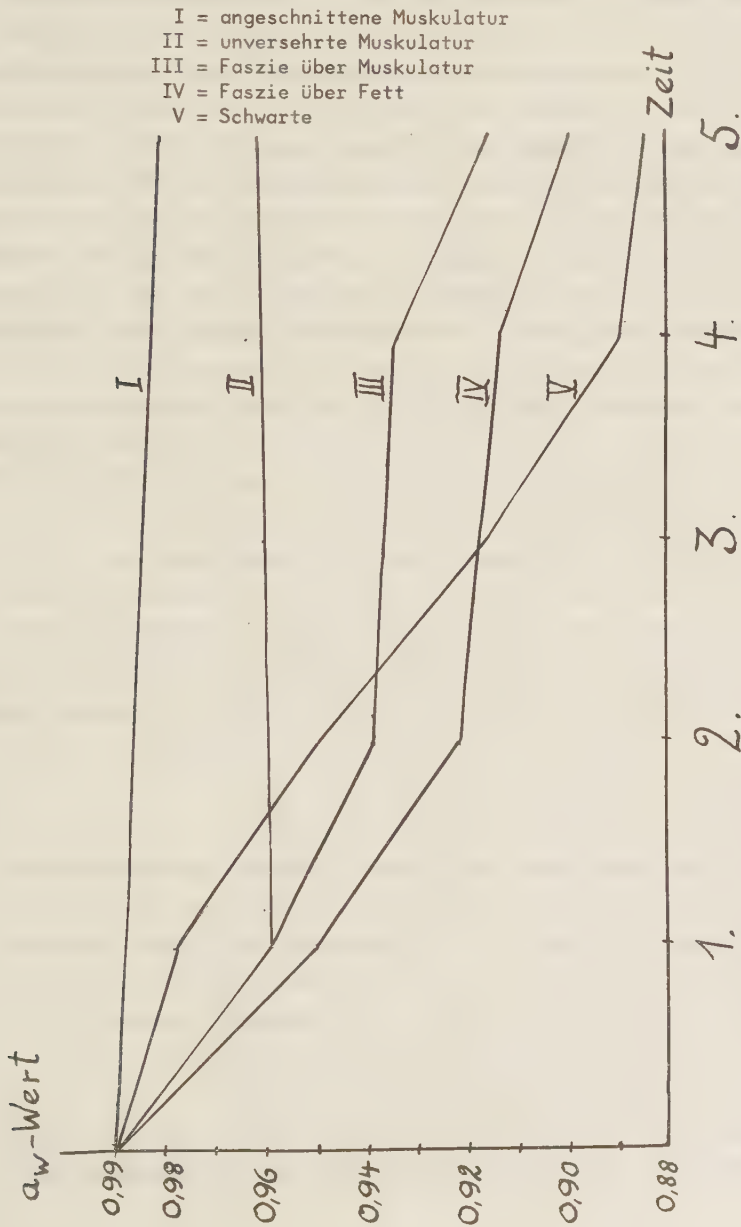
Beobachtungszeitraum		1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
I angeschnittene Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$	5,90	5,81	5,75	5,70	5,65
	n	9	9	9	9	9
	s	0,13	0,20	0,17	0,18	0,23
II unversehrte Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$	6,90	6,89	6,47	6,20	6,00
	n	9	9	9	9	9
	s	0,25	0,21	0,36	0,18	0,19
III Faszie über Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$	6,80	6,83	6,79	6,23	6,10
	n	9	9	9	9	9
	s	0,21	0,20	0,23	0,36	0,21
IV Faszie über Fett (Rind)	$\bar{x}$	7,90	7,93	7,87	7,69	7,43
	n	9	9	9	9	9
	s	0,40	0,30	0,28	0,26	0,33
V Schwarte (Schwein)	$\bar{x}$	8,00	7,95	7,90	7,93	7,65
	n	9	9	9	9	9
	s	0,46	0,20	0,32	0,26	0,28

In der Tabelle 13 sind die in den Modellversuchen ermittelten oberflächlichen a_w -Werte der fünf untersuchten Gewebearten bzw. Regionen während des Untersuchungszeitraumes von fünf Tagen, also vom 1. bis 5. Tag, post mortem dargestellt. Die Tabelle 13 enthält Mittelwerte, Minimum und Maximum, Standardabweichung sowie den Variationskoeffizienten der Wasseraktivität. Die Zahlenangaben in der Tabelle verstehen sich ohne einen

Tabelle 13: Veränderung der a_w -Werte der Oberfläche von Proben der 5 Oberflächenregionen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank

Beobachtungszeitraum		1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
I angeschnittene Muskulatur (Rind u.Schwein)	$\bar{x}$	0,979	0,983	0,986	0,989	0,978
	Min.	0,934	0,953	0,907	0,960	0,941
	Max.	1,010	1,019	1,045	1,017	1,003
	n	12	11	12	11	17
	s	0,0215	0,0220	0,0361	0,0161	0,0173
II unversehrte Muskulatur (Rind)	CV%	2,20	2,24	3,66	1,62	1,77
	$\bar{x}$	0,959	0,954	0,961	0,958	0,958
	Min.	0,914	0,916	0,926	0,913	0,919
	Max.	0,988	0,995	0,991	0,986	0,987
	n	15	10	11	10	17
III Faszie über Muskulatur (Rind u.Schwein)	s	0,0226	0,0244	0,0214	0,0220	0,0181
	CV%	2,36	2,56	2,23	2,34	1,89
	$\bar{x}$	0,955	0,938	0,937	0,928	0,916
	Min.	0,904	0,924	0,898	0,873	0,878
	Max.	0,978	0,949	0,975	0,980	0,966
IV Faszie über Fett (Rind)	n	13	10	17	11	11
	s	0,0217	0,0102	0,0243	0,0330	0,0289
	CV%	2,27	1,08	2,59	3,55	3,15
	$\bar{x}$	0,950	0,922	0,912	0,911	0,904
	Min.	0,928	0,892	0,875	0,879	0,871
V Schwarte (Schwein)	Max.	0,981	0,941	0,936	0,932	0,967
	n	13	17	12	11	11
	s	0,0178	0,0165	0,0180	0,0170	0,0290
	CV%	1,87	1,79	1,99	1,89	3,26
	$\bar{x}$	0,979	0,948	0,926	0,898	0,886
	Min.	0,975	0,897	0,885	0,864	0,841
	Max.	0,984	0,970	0,980	0,934	0,913
	n	10	14	11	16	10
	s	0,0038	0,0180	0,0310	0,0220	0,0263
	CV%	0,39	1,86	3,39	2,47	2,96

Abbildung 12: Tendenz-Darstellung der a_w -Wert-Veränderung der Oberfläche von Fleischproben im Klimaprüfschrank



mittels des Tests nach GRUBBS und BECK (1972) eliminierten Ausreißers. Aus der Tabelle 13 ist ersichtlich, daß mit Ausnahme der Gewebearten "unversehrte Muskulatur" (II) die niedrigsten Mittelwerte der Wasseraktivität am letzten Untersuchungstag vorlagen, also haben die a_w -Werte in der Tendenz abgenommen (siehe Abbildung 12). Fünf Tage post mortem wies die "angeschnittene Muskulatur" (I) noch den höchsten a_w -Wert (0,980) im Mittel auf, gefolgt von "unversehrte Muskulatur" (II), "Faszie über Muskulatur" (III), "Faszie über Fett" (IV) und "Schwarte" (V). Die "End- a_w -Werte" der Gewebearten "angeschnittene Muskulatur" (I) und "unversehrte Muskulatur" (II) entsprechen mit geringen Abweichungen den "Anfangs- a_w -Werten" sowie den a_w -Werten in der dazwischenliegenden Zeit. Mittels des Tests für zwei unabhängige Stichproben lassen sich die mittleren Differenzen bei den Gewebearten "Schwarte", "Faszie über Fett" sowie "Faszie über Muskulatur" zwischen Anfangs- und End- a_w -Wert bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ statistisch sichern. Bei den Gewebearten "angeschnittene Muskulatur" sowie "unversehrte Muskulatur" handelt es sich bei dem untersuchten Material um zufällige Unterschiede zwischen den entsprechenden mittleren a_w -Werten, da die Wahrscheinlichkeit für derartige Differenzen oberhalb von 0,05 liegt. Die Variationskoeffizienten (CV%) sind bei allen Gruppen (Gewebeart und Tage nach der Schlachtung) kleiner als 5 %. Das bedeutet, daß das den Angaben in Tabelle 13 zugrundeliegende Zahlenmaterial bei den einzelnen Gruppen homogen ist.

3.3.4 Ergebnisse der Oberflächen-Beeinflussung

Die Versuche wurden unter den gleichen klimatischen Bedingungen, wie unter 3.3.3.1 beschrieben, im Klimaprüfschrank durchgeführt. Daher wird im folgenden nicht mehr auf die klimatischen Daten des Prüfraumes des Präzisionsklimaschranks eingegangen. Die Oberflächentemperatur der Proben war identisch mit den unter 3.3.3.2 gemachten Angaben.

3.3.4.1 Beeinflussung des oberflächlichen pH-Wertes

In Tabelle 14 werden die mittleren pH-Werte sowie Standardabweichung der behandelten Oberfläche von Proben der 5 Oberflächenregionen wäh-

rend des fünftägigen Beobachtungszeitraumes, also vom 1. bis 5. Tag, post mortem vorgestellt. Der Tabelle ist zu entnehmen, daß durch die Behandlung die oberflächlichen pH-Werte stark beeinflußt, d. h. erniedrigt werden konnten. Diese pH-Erniedrigung war weitgehend bis zum 5. Tag post mortem aufrecht zu erhalten, und die pH-Unterschiede der verschiedenen Gewebearten (siehe Tabelle 12) sind durch die Behandlung deutlich nivelliert worden. Der statistische Vergleich der Anfangs-pH-Werte der behandelten Oberflächen (Tabelle 14) mit den Anfangs-pH-Werten der unbehandelten Oberflächen (Tabelle 12) ergab einen signifikanten Unterschied ($\alpha \leq 0,05$). Desgleichen unterschied sich der mittlere End-pH-Wert der Gewebeart "angeschnittene Muskulatur" (I) von dem mittleren End-pH-Wert dieser Gewebeart im unbehandelten Zustand signifikant ($\alpha \leq 0,05$), wie auch die Unterschiede zwischen den entsprechenden pH-Werten der übrigen untersuchten Gewebearten sich bei dem vorgegebenen Signifikanzniveau statistisch sichern ließen.

Tabelle 14: pH-Werte der behandelten Oberfläche von Proben der 5 Oberflächenregionen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank

Beobachtungszeitraum		1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
I angeschnittene Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$ n s	4,4 9 0,18	4,9 9 0,15	4,7 9 0,17	5,1 9 0,10	5,0 9 0,10
II unversehrte Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$ n s	4,3 9 0,20	4,6 9 0,21	4,8 9 0,15	4,9 9 0,10	4,7 9 0,15
III Faszie über Muskulatur (Rind)	$\bar{x}$ n s	3,9 9 0,30	4,4 9 0,28	4,8 9 0,15	4,7 9 0,20	4,4 9 0,18
IV Faszie über Fett (Rind)	$\bar{x}$ n s	4,1 9 0,20	4,5 9 0,22	4,3 9 0,18	4,6 9 0,20	4,5 9 0,21
V Schwarte (Schwein)	$\bar{x}$ n s	4,2 9 0,21	4,4 9 0,27	4,4 9 0,17	4,7 9 0,15	4,7 9 0,18

3.3.4.2 Beeinflussung des oberflächlichen a_w -Wertes

Die Tabelle 15 enthält Mittelwerte, Minimum und Maximum, Standardabweichung sowie die Variationskoeffizienten der a_w -Werte der behandelten Oberflächen von Proben der fünf Oberflächenregionen vom 1. bis 5. Tag post mortem. Die Zahlenangaben in dieser Tabelle verstehen sich ohne die mittels des Tests nach GRUBBS und BECK (1972) eliminierten Ausreißer. Aus der Tabelle 15 ist ersichtlich, daß insbesondere bei den Gewebearten "angeschnittene Muskulatur" (I) und "Schwarte" (V) durch die Behandlung eine deutliche Absenkung des a_w -Wertes der Oberfläche am ersten Tag nach der Schlachtung, also nach der Schlachtung und der Schnellstarkühlung, erzielt werden konnte. Im Verlauf der Lagerung fand eine weitere Absenkung des a_w -Wertes bei allen Gewebearten statt, jedoch wurden so tiefe "End- a_w -Werte" der Gewebearten "Schwarte" (V), "Faszie über Fett" (IV) sowie "Faszie über Muskulatur" (III) wie die in Tabelle 13 aufgeführten "End- a_w -Werte" der gleichen unbehandelten Gewebearten nicht gefunden. Die "End- a_w -Werte" der Gewebearten "angeschnittene Muskulatur" und "unversehrte Muskulatur" lagen tiefer als die in Tabelle 13 aufgeführten "End- a_w -Werte". Mittels des t-Tests für zwei unabhängige Stichproben handelt es sich bei der Gewebeart "unversehrte Muskulatur", "Faszie über Muskulatur" sowie "Schwarte" zwischen Anfangs- und End- a_w -Wert um einen signifikanten Unterschied ($\alpha \leq 0,05$). Bei den Gewebearten "angeschnittene Muskulatur" sowie "Faszie über Muskulatur" liegt für das untersuchte Material kein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den entsprechenden mittleren a_w -Werten vor. Der Vergleich der mittleren Anfangs- a_w -Werte in Tabelle 15 mit den mittleren Anfangs- a_w -Werten in Tabelle 13 ergibt, daß die a_w -Werte der behandelten Oberflächen sich bei den Gewebearten "angeschnittene Muskulatur", "Faszie über Muskulatur" sowie bei der Gewebeart "Schwarte" signifikant unterscheiden ($\alpha \leq 0,05$). Die mittleren End- a_w -Werte der behandelten Oberflächen unterscheiden sich von den mittleren End- a_w -Werten der unbehandelten Oberflächen (Tabelle 13) bei den Gewebearten "angeschnittene Muskulatur", "unversehrte Muskulatur",

"Faszie über Fett" sowie bei der Gewebeart "Schwarte" statistisch gesichert ($\alpha \leq 0.05$). Zwischen den entsprechenden End- α_w -Werten der Gewebeart "Faszie über Muskulatur" kann dagegen die Zufälligkeit der aufgetretenen Unterschiede nicht abgelehnt werden. Da die Variationskoeffizienten (CV %) bei allen Gruppen (Gewebeart und Tage nach der Schlachtung) weniger als 5 % betragen, ist das den Angaben in Tabelle 15 zugrundeliegende Zahlenmaterial bei den einzelnen Gruppen homogen.

Tabelle 15: a_w -Wert der behandelten Oberflächen von Proben der 5 Oberflächenregionen während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank
x) = nach Schlachtung und Schnellstarkühlung

Beobachtungszeitraum		1. Tag ^{x)}	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
I angeschnittene Muskulatur (Rind u. Schwein)	$\bar{x}$	0,965	0,958	0,959	0,961	0,959
	Min.	0,928	0,910	0,904	0,925	0,923
	Max.	1,002	0,986	0,989	0,989	0,983
	n	17	17	17	17	17
II unversehrte Muskulatur (Rind)	s	0,0195	0,0204	0,0234	0,0179	0,0186
	CV%	2,02	2,14	2,43	1,86	1,94
	$\bar{x}$	0,952	0,948	0,936	0,939	0,927
	Min.	0,886	0,890	0,865	0,874	0,880
III Faszie über Muskulatur (Rind u. Schwein)	Max.	0,987	0,990	0,972	0,984	0,975
	n	18	18	18	18	18
	s	0,0240	0,0260	0,0310	0,0310	0,0338
	CV%	2,54	2,74	3,29	3,27	3,65
IV Faszie über Fett (Rind)	$\bar{x}$	0,937	0,931	0,927	0,934	0,928
	Min.	0,884	0,845	0,859	0,874	0,869
	Max.	0,993	0,985	0,959	0,975	0,973
	n	18	18	18	18	18
V Schwarte (Schwein)	s	0,0240	0,0410	0,0215	0,0300	0,0215
	CV%	2,56	4,43	3,25	3,17	3,19
	$\bar{x}$	0,953	0,935	0,925	0,935	0,928
	Min.	0,927	0,868	0,854	0,892	0,861
	Max.	0,983	0,967	0,964	0,965	0,961
	n	17	18	18	17	18
	s	0,0141	0,0260	0,0300	0,0997	0,0250
	CV%	1,48	2,82	3,27	2,11	2,73
	$\bar{x}$	0,946	0,936	0,921	0,916	0,909
	Min.	0,876	0,868	0,854	0,881	0,859
	Max.	0,995	0,968	0,953	0,945	0,952
	n	18	18	18	17	18
	s	0,0260	0,0260	0,0250	0,1943	0,0251
	CV%	2,74	2,75	2,72	2,12	2,76

4. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung war, eine Methode zur Ermittlung der Wasseraktivität der Oberfläche von Fleisch zu finden. Mit dieser Methode sollte ein exemplarischer Überblick der Wasseraktivitätsverhältnisse von Schlachttierkörper-Oberflächen während der Fleischkühl-lagerung im Kühlraum eines Schlachthofes sowie im Modell in einem Klima-prüfschrank geschaffen werden. Dabei wurden die physikalischen Parameter pH-Wert und Temperatur der Fleischoberfläche mit berücksichtigt. Weiterhin sollte orientierend im Modellversuch geprüft werden, ob die Möglich-keit der Beeinflussung des a_w -Wertes und des pH-Wertes der Fleischober-fläche besteht.

4.1 Methode zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch

Dem a_w -Wert der Fleischoberfläche und dessen Bedeutung für die Haltbar-keit von Fleisch wurde in der Literatur durchaus Beachtung geschenkt. Sei es nur im Hinblick auf die Kondensation von Wasserdampf auf der Fleischoberfläche (GRIESHAMMER, 1965; LANG, 1968; SCHMIDHOFER, 1973; BELICA, 1974; WIRTH und Mitarb., 1975; BELICA, 1976a, 1976b) oder seien es vor allem theoretisch-physikalische Überlegungen betreffend die Vorgänge, aus denen beim Abkühlen und Kühlhalten des Fleisches die Wasseraktivität der Fleischoberfläche resultiert (HEISS, 1933; SCHWARTZ und LOESER, 1934; KAESSE und SCHWARTZ, 1934; HICKS, 1935; HEISS, 1938; SCOTT und VICKERY, 1939; SCOTT, 1955; HICKS und Mitarb., 1957; CSISZAR und BIRÓ, 1967; KARMAS, 1975; LANG, 1978). Von HICKS und Mitarb. (1954) wurde bereits der Versuch zur Messung des a_w -Wertes von Fleischoberflächen unternommen. Die Problematik des von HICKS und Mitarb. (1954) durchge-führten und in Versuchen nachvollzogenen Abpräparierens (siehe 3.3.1.1) der Proben von Oberflächen-Gewebe der Tierkörperhälften bestand darin, die Dicke der Proben zu standardisieren. Nach HEISS (1938) und WIRTH und Mitarb. (1976) trocknet beim Abkühlen des Fleisches nur eine dünne Oberflächenschicht, so daß beim Abtragen von Oberflächengewebe-Proben

darunterliegende Gewebeschichten mit dem a_w -Wert von frischem Fleisch oder Fett (0,990) miterfaßt werden. Die Bestimmung der Wasseraktivität der so gewonnenen Proben nach dem Gleichgewichtsfeuchtigkeitsprinzip in einer wasserdampfdichten Meßanordnung (RÖDEL und Mitarb., 1978) bedingt ein Feuchtgleichgewicht zwischen der dünnen abgetrockneten Oberflächenschicht und dem mit abpräparierten, darunterliegenden feuchten Gewebe. Die Wasseraktivität solcher Proben wird solange dem a_w -Wert von 0,990, nämlich dem frischen Fleisches, entsprechen, bis eine Entquellung der Oberfläche durch Anwendung niedriger relativer Luftfeuchtigkeit und hoher Luftgeschwindigkeit bei längerer Kühllagerung ein Ausmaß erreicht hat, daß durch das relativ grobe Verfahren des Abpräparierens Proben nur noch aus trockenen Bereichen der Oberflächenschicht gewonnen werden. Die von CSISZAR und BIRÓ (1967) als "Kruste" oder "Lederhaut" beschriebene dicke abgetrocknete Schicht der Fleischoberfläche dürfte bei der heutigen Praxis der Fleischkühllagerung nicht zu beobachten sein. Daß das wasserdampfdichte Aufsetzen von Feuchtigkeits-Sensoren (siehe 3.3.1.1) ebenfalls nur a_w -Werte frischen Fleisches lieferte, ist insofern verständlich, als das wasserdampfundurchlässige Abdecken einer abgetrockneten Schicht mit darunterliegendem feuchten Gewebe im Verlauf der Einstellung eines Feuchtgleichgewichtes das Wiederaufeuchten der trockenen Oberflächenschicht durch die darunterliegenden Gewebeschichten zwangsläufig herbeiführt.

Mit dem unter 3.3.1.3 beschriebenen Meßprinzip sollte eine Methode zur Bestimmung der Wasseraktivität von Fleischoberflächen vorgeschlagen werden, die unter Beibehaltung des Wasserdampf-Austausches zwischen der Oberflächenschicht in ihrem natürlichen Gewebeverband und umgebender Luft sowie unabhängig von der Dicke der abgetrockneten Oberflächenschicht die Ermittlung des Oberflächen- a_w -Wertes ermöglicht. Dem vorgestellten Meßprinzip liegt zugrunde, daß in dem zylindrischen Rohr der Wasserdampfdruck bzw. die relative Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zur Oberfläche abnimmt, wenn der Wasserdampfdruck

der umgebenden Luft geringer als derjenige der Oberfläche ist bzw. zunimmt, wenn der Wasserdampfteildruck der umgebenden Luft höher als derjenige der Oberfläche ist. Wären die atmosphärischen Druckverhältnisse auf die Wasserdampfteildruckverhältnisse in der beschriebenen Meßanordnung übertragbar, dann müßte nach der barometrischen Höhenformel auf der Strecke der zylindrischen Rohre (29 mm beim Spezialfeuchtefühler, DMP-DEBRUNNER, bzw. 15,6 mm beim Feuchtefühler (SERVO-MED)) eine exponentielle Abhängigkeit des Wasserdampfteildruckes vom Abstand zur Oberfläche zu erwarten sein. Dagegen gelangten NILSSON und Mitarb. (1975, 1976) und NILSSON (1977) zu der Auffassung, daß der Wasserdampfteildruck in einer solchen Meßanordnung in der relativ geringen Höhe über der Oberfläche in proportionaler und nicht in exponentieller Abhängigkeit vom Abstand zur Oberfläche zu sehen ist. Abweichungen von der Linearität der Abhängigkeit des Wasserdampfteildruckes vom Abstand zur Oberfläche dürften durch die Feuchtigkeitssensoren kaum erfaßt werden und innerhalb des unter 3.3.1.3 angegebenen Fehlers der Methode liegen. Die angegebene mittlere Abweichung der Methode zur Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes liegt zwar über der von RÖDEL und Mitarb. (1978) angegebenen Abweichung der Meßanordnungen zur Ermittlung des Produkt- a_w -Wertes, entspricht aber dem Vorschlag einer mittleren Abweichung von 0,01 a_w bei der Wasseraktivitätsmessung von Produkten im Rahmen der Vorbereitung eines Kommissionsdokumentes in Zusammenhang mit Artikel 10 der Richtlinie "Fleischerzeugnisse", und dürfte der von der Praxis der a_w -Wert-Messung realisierbaren Genauigkeit nicht nachstehen.

Von einem im Bau befindlichen Prototyp, der auf dem vorgestellten Meßverfahren basiert, wird eine größere als unter 3.3.1.3 angenommene Genauigkeit bei der Bestimmung des Oberflächen- a_w -Wertes infolge einer besonderen Auswahl der Meßelemente mit identischer Kenncharakteristik erwartet. Der Einsatz dieses Meßverfahrens ist bei Frischgeflügel, bei der Käse- und Backindustrie vorgesehen.

4.2 Klimabedingungen im Kühlraum und physikalische Parameter der Fleischoberfläche

Während sich die Temperatur der Kühlraumluft um $\pm 0^{\circ}\text{C}$ bis nahe am Gefrierpunkt des Fleisches ($-1,2^{\circ}\text{C}$) bewegte und damit den Empfehlungen von TAMM (1974, 1976) und WIRTH und Mitarb. (1976) entsprach, unterschritt die relative Luftfeuchtigkeit im Mittel erheblich die Angaben einer für die Fleischkühl Lagerung als optimal erachteten Luftfeuchtigkeit von 90 % rF (THEIREICH, 1959; SHAW, 1972; TAMM, 1976; WIRTH und Mitarb., 1976). Die Feststellung von HEISS (1938), daß die relative Feuchtigkeit an der Fleischoberfläche mit der relativen Feuchtigkeit der Kühlraumluft nicht übereinstimmt, da sich je nach Stärke der Luftbewegung ein Feuchtigkeitfeld mit einer Dicke bis zu mehreren Zentimetern an der Oberfläche befindet, konnte im vorliegenden Fall bestätigt werden. Die relative Luftfeuchtigkeit unmittelbar über der Fleischoberfläche überschritt erheblich die im Kühlraum gemessene relative Luftfeuchtigkeit und den für die Fleischkühl Lagerung als optimal angesehenen Wert der relativen Luftfeuchtigkeit von 90 % rF. Das die Schlacht tierkörper umhüllende Feuchtigkeitfeld war auf eine fehlende oder zu geringe Luftbewegung direkt an den Fleischoberflächen zurückzuführen. Somit kann von einer stillen Kühlung der Schlacht tierkörper bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit gesprochen werden.

Aus den unter 3.2.1 genannten Gründen konnten die a_w -Werte nicht an der Oberfläche der gleichen Schlacht tierkörper gemessen werden. Daß dabei die Oberfläche von Tierkörpern unterschiedlicher Fleischbeschaffenheit (PSE, DFD) und damit von unterschiedlichen Wasserbindungseigenschaften herangezogen wurde, ist wahrscheinlich. Gegen den Einwand, die Wasseraktivität könne durch die Wasserbindung beeinflusst werden (HANSEN und RIEMANN, 1962), sind die Ergebnisse von VRCHLABSKÝ und LEISTNER (1970) anzuführen. Die Autoren stellten fest, daß weder bei Rind- noch bei Schweinefleisch die Wasseraktivität von der Wasserbindung beeinflusst wird und der a_w -Wert beider Fleischarten durchschnittlich 0,990 beträgt.

Angesichts der geringen Menge des an Eiweißmoleküle gebundenen Wassers im Fleisch (4 % nach HAMM, 1972), also des Anteils des Gesamtwassers, der an der Wasserdampfteildruck-Bildung und damit am Wert der Wasseraktivität unbeteiligt ist, kann eine Abhängigkeit der Wasseraktivität des frischen Fleisches von der Fleischbeschaffenheit, Art oder Alter der Tiere kaum erwartet werden.

Wie in 3.3.2.2 festgestellt, lagen die niedrigsten Mittelwerte der Wasseraktivität bei allen Gewebearten bzw. Regionen am ersten Tag nach der Schlachtung vor. Außer bei der Schwarte sowie den Schnittflächen von Muskulatur und Fett hat bei den übrigen Oberflächengewebarten eine deutliche Abtrocknung stattgefunden. Die relativ niedrigen a_w -Werte des überwiegenden Teiles der Oberfläche von Rinderhälften und des geringeren Teiles der Oberfläche von Schweinehälften steht im ursächlichen Zusammenhang mit der Schnellstabbkühlung der Schlacht tierkörper vor der Kühlhaltung. Die schnelle Abkühlung der untersuchten Schlacht tierkörper in stark bewegter Luft im Gefriertemperaturbereich schafft die Voraussetzung für ein hohes Wasserdampfteildruck-Gefälle von der Oberfläche der Schlacht tierkörper zur umgebenden Luft. Die Differenz zwischen dem Wasserdampfteildruck der umgebenden Luft und dem Wasserdampfteildruck der Oberfläche (siehe Tabelle 2) im Zusammenwirken mit einer hohen Luftgeschwindigkeit läßt auf eine erhebliche Verdunstungsrate des Oberflächengewebes schließen (HICKS und Mitarb., 1954). Dabei wird von der Oberfläche mehr Feuchtigkeit abgeführt, als vom Innern des Fleisches nachdiffundieren kann. Dies führt zu einer Abtrocknung der Oberflächenschichten bzw. zu einer Absenkung des a_w -Wertes (HEISS, 1938; SCOTT und VICKERY, 1939).

Obwohl bei der Schwarte während der Abkühlphase Entquellungs Vorgänge ähnlichen Ausmaßes wie bei den Gewebearten "Faszie über Muskulatur" und "Faszie über Fett" erwartet wurden, liegen am ersten Tag der Kühlhaltung a_w -Werte vor, die auf eine nur geringe Abtrocknung schließen lassen. Für eine stärkere Entquellung der v. a. beim Brühvorgang mit Wasser gesättigten Schwarte reicht der ca. 30 Minuten dauernde Aufenthalt im Schnellabkühlraum offenbar nicht aus.

Die Schnittflächen, als ein Teil der Schlachttierkörperoberfläche, besitzen nicht wie die übrigen untersuchten Oberflächengewebearten eine bindegewebige Grenzschicht, die relativ schnell einen gewissen Entquellungszustand erreicht und dadurch sich zu einer Barriere gegen das nachdiffundierende Wasser aus tieferen Schichten ausbildet.

Die während der Abkühlphase der Schlachttierkörper erzielte Absenkung der Wasseraktivität eines großen Teiles der Schlachttierkörperoberfläche wird mit Ausnahme der Gewebeart "Faszie über Fett" im Verlauf der fünftägigen Kühllagerung wieder aufgehoben. Da während der Kühllagerung die Oberflächentemperatur praktisch mit der Temperatur der Kühlraumluft identisch ist, liegt nur noch eine geringe Wasserdampfdruck-Differenz zwischen der Oberfläche und der Kühlraumluft während der fünftägigen Kühllagerung vor (siehe Tabelle 2). Somit dürfte die Verdunstungsrate des Oberflächengewebes als Funktion der Wasserdampfdruck-Differenz zwischen der Oberfläche und der Kühlraumluft sowie der Luftgeschwindigkeit auf ein Minimum reduziert sein. Die Folge davon ist, daß zwar kaum mehr mit Gewichtsverlusten zu rechnen ist (WIRTH und Mitarb., 1976; HICKS, 1935; SCOTT und VICKERY, 1939; KARMAS, 1975), daß aber größere Wassermengen aus tieferen Schichten der Schlachttierkörper nachdiffundieren als von den Oberflächenschichten verdunsten können. Die während der Kühllagerung allmählich ansteigenden a_w -Werte bei den übrigen Oberflächengewebearten deuten darauf hin, daß der Entquellungsvorgang während der Schnellabkühlung nicht irreversibel ist. Die Wasserdampfdruck-Differenzen sind nicht so stark, daß diese Barrieren ihre Permeabilität für Wasser vollständig verlieren. Bei der Oberflächengewebeart "Faszie über Fett", wo der geringste mittlere a_w -Wert am Ende der Kühllagerung festgestellt wurde (Tabelle 12), verhindert die Fettabdeckung, die von KRISPIEN und RÖDEL (1978) als praktisch wasserdampfundurchlässige Schicht angesehen wird, die vollständige Rehydrierung der darüberliegenden Faszie mit frei beweglichem Wasser aus tiefer liegenden Muskelpartien (MOSSEL und INGRAM, 1955).

Die hinsichtlich der Beeinflussung des bakteriellen Wachstums auf der Fleischoberfläche erwünschte Absenkung des Wasseraktivitätswertes des überwiegenden Teiles der oberflächlichen Gewebsschichten bei Rinderhälften und des geringeren Teiles der Oberfläche bei Schweinehälften wird während der als stille Kühlung bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit anzusehenden Kühllagerung der Schlachttierkörper im Kühlraum nicht aufrechterhalten.

Die als Referenz angegebenen pH-Werte des Inneren der Muskulatur (siehe Tabelle 11) wurden an den von LINKE und HEINZ (1972), LINKE (1976), FISCHER und Mitarb., (1977) sowie SCHEPER (1978) vorgeschlagenen Meßstellen ermittelt. Während die pH-Werte des Muskelinneren sich noch im Bereich der normalen Säuerung von Fleisch bewegten, lagen vor allem bei der Schwarte und bei "Faszie über Fett" unerwartet hohe Oberflächen-pH-Werte vor. Allerdings gibt auch BARTELS (1968) für Fett einen pH-Wert von 8,4 und für Bindegewebe von 7,3 bis 7,4 an. Die Oberflächen-pH-Werte der Schwarte und der "Faszie über Fett" sanken zwar im Verlauf des Beobachtungszeitraumes, verließen aber während dieses Zeitraumes nicht den basischen Reaktionsbereich. Das Absinken der pH-Werte der Schwarte sowie der "Faszie über Fett" könnte mit dem Auftreten von Fettsäuren erklärbar sein.

Die Temperatur der Fleischoberfläche bewegte sich, wie die Temperatur der Kühlraumluft, nahe am Gefrierbeginn des Fleisches und entsprach damit den Vorstellungen von einer optimalen Temperatur der Fleischkühlagerung (TAMM, 1974, 1976; WIRTH und Mitarb., 1976).

4.3 Klimabedingungen und physikalische Parameter der Fleischoberfläche im Modell

Unter den in 3.3.3.1 beschriebenen Klimabedingungen sollte der Einfluß der von WIRTH und Mitarb. (1976) als für die Kühllagerung von Schlachttierkörpern als optimal angesehenen Richtwerte für die relative Luftfeuchtigkeit und die Luftbewegung auf die Wasseraktivität der Oberfläche von Fleischproben im Klimaprüfschrank festgestellt werden.

Die prinzipielle Variante in der Gestaltung der klimatischen Verhältnisse der Prüfraumlufte gegenüber den klimatischen Bedingungen der Kühlraumlufte bestand in der kontinuierlichen Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit, mit der die Luft über die Oberfläche der Fleischproben hinwegstrich. Obwohl im Prüfraum eine höhere relative Luftfeuchtigkeit eingestellt war, als sie im Kühlraum gemessen wurde, obwohl also im Prüfraum eine geringere Wasserdampfdruck-Differenz zwischen der Fleischoberfläche und der umgebenden Luft als im Kühlraum vorlag, konnten die zu Beginn des Beobachtungszeitraumes vorliegenden Oberflächen- a_w -Werte nicht nur gehalten, sondern zum überwiegenden Teil gesenkt werden.

Die Anfangs- a_w -Werte der Oberflächengewebe bei den Modellversuchen unterschieden sich nicht wesentlich von den Anfangs- a_w -Werten, die im Kühlraum an den Schlachttierkörper-Oberflächen ermittelt wurden. Deutliche Unterschiede waren deshalb nicht zu erwarten, weil die Oberflächen der Fleischproben den gleichen Abkühlbedingungen ausgesetzt waren wie die Oberflächen der Schlachttierkörper im Praxisversuch. Die mittleren Oberflächen- a_w -Werte der Schwarte und der "Faszie über Fett" erreichten praktisch das Feuchtigkeitsgleichgewicht mit der relativen Luftfeuchtigkeit der Prüfraumlufte am Ende des fünftägigen Beobachtungszeitraumes. Diese Beobachtung ist vergleichbar mit den Ergebnissen von HICKS und Mitarb. (1954), die nach 10tägiger Lagerung von Schlachttierkörpern des Schafes bei 84 bis 85 % rF ebenfalls feststellten, daß bei Bindegewebe über Fett annähernd ein Feuchtigkeitsgleichgewicht mit der relativen Luftfeuchtigkeit vorlag.

Während im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach die relative Luftfeuchtigkeit an den Oberflächen der Schlachttierkörper nicht der relativen Luftfeuchtigkeit an dem Feuchtgrenzgeber im Kühlraum entsprach und damit das Fleisch bei höherer Luftfeuchtigkeit gelagert wurde als sie am Feuchtgrenzgeber vorlag, war im Prüfraum des Klimaschranks infolge der ständigen Luftbewegung die relative Luftfeuchtigkeit in den Fleischoberflächen identisch mit der eingestellten relativen Feuchtig-

keit der Prüfraumlufte. Obwohl es sich bei den ermessenen Werten im Klimaprüfschrank um die Ergebnisse von Modellversuchen handelte, könnte daraus die Forderung resultieren, daß bei der für die Fleischkühl Lagerung empfohlenen relativen Luftfeuchtigkeit um 90 % rF (WIRTH und Mitarb., 1976) die Feuchtigkeitsmessung und -steuerung am Kühlgut und nicht irgendwo im Kühlraum erfolgen sollte. Eine Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec im Verein mit der Luftfeuchtigkeit um 90 % rF wird von WIRTH und Mitarb. (1976) als geeignet angesehen, größere, unerwünschte Gewichtsverluste zu verhindern. Diese Luftgeschwindigkeit an den Oberflächen der Schlachttierkörper dürfte insofern kaum technische Schwierigkeiten bereiten, als eine ständige Luftbewegung statt in horizontaler Richtung weit oberhalb der kühl gelagerten Schlachttierkörper in vertikaler Richtung zwischen dem in der Praxis dicht hängenden Kühlgut möglich ist. Ständige Luftbewegung ruft aber größere Gewichteinbußen der Schlachttierkörper hervor und steht damit den pekuniären Interessen des Schlachtgewerbes entgegen. Hervorzuheben ist, daß die Schnittflächen von Muskulatur auch bei den klimatischen Bedingungen des Modellversuches keine Erniedrigung des Oberflächen- a_w -Wertes erfahren haben. Auch bei den Modellversuchen lagen die pH-Werte der Schwarte und der "Faszie über Fett" während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im basischen Reaktionsbereich. Da es sich um die gleichen Oberflächengewebearten wie im Praxisversuch handelte, waren keine andersgearteten Ergebnisse der pH-Wert-Messung zu erwarten.

4.4 a_w -Wert und pH-Wert einer behandelten Fleischoberfläche im Modell

Während zahlreiche, meist patentierte Vorschläge zur Vermeidung von Gewichtsverlusten und zum Schutze der Fleischoberfläche existieren (AYRES, 1959; WILLIAMS, 1964; ANDERSON, 1960, 1961; BAUER und Mitarb., 1969; SCHEIDE, 1972; STEMMLER, 1972; BARTELS und Mitarb., 1972), ist nur als Wirkstoff zum Besprühen der Fleischoberfläche frischer Schlachttierkörper mit dem Ziel der Beeinflussung des a_w - oder pH-Wertes nur eine

Lösung aus organischen Säuren (Zitronensäure, Milchsäure, Weinsäure und Ascorbinsäure) zur pH-Wert-Absenkung und damit zur Verbesserung der Haltbarkeit frisch erschlachteten Fleisches bekannt (BARTELS, 1977). Im ersteren Falle handelt es sich um unterschiedliche Verfahren eines wasserdampfdichten, aber sauerstoffdurchlässigen Verschlusses von Tierkörperteilen oder Teilstücken mit plastischen, filmartigen Überzugsmassen. Bei der Anwendung von organischen Säuren soll über die direkte Beeinflussung des Oberflächen-pH-Wertes eine Haltbarkeitsverlängerung von Schlachttierkörpern erzielt werden.

Mit der unter 3.1.3.1 beschriebenen Lösung aus organischer Säure und Kochsalz wurde eine gleichzeitige Absenkung sowohl des pH-Wertes als auch des a_w -Wertes angestrebt. Die verwendete Lösung wurde nicht zuletzt deshalb gewählt, weil weder Kochsalz noch Zitronensäure unter den Zusatzstoffbegriff des § 2 des LMBG fallen. Bei allen im Modell untersuchten und mit der Lösung behandelten Oberflächen der Fleischproben war eine deutliche Erniedrigung der Oberflächen-pH-Werte zu verzeichnen und über den fünftägigen Beobachtungszeitraum zu halten. Überraschenderweise war auch eine deutliche Absenkung des Oberflächen- a_w -Wertes der Schnittflächen von Muskelgewebe als locus minoris resistentiae am Schlachttierkörper hinsichtlich der Keimvermehrung an der Fleischoberfläche zu verzeichnen und während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes zu halten. Ob eine solche Lösung im großtechnischen Rahmen einsetzbar ist und den vermuteten Effekt einer Haltbarkeitsverlängerung im Kühlbereich oder im Sinne LEISTNER's (1977) einer Entschärfung der Forderung nach den derzeitig als optimal geltenden Kühltemperaturen zeitigt, wäre in breit angelegten mikrobiologischen Versuchen mit Schlachttierkörpern zu belegen.

4.5 Mikrobiologische Bedeutung der ermittelten physikalischen Parameter der unbehandelten und behandelten Fleischoberfläche

Wachstumsgrenzwerte von zahlreichen Mikroorganismen für Wasseraktivität, Wasserstoffionenkonzentration und Temperatur sind aus der Literatur

bekannt und beeinflussen jeder für sich allein sowie im Zusammenwirken die Vermehrung und die Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen. Die Überwiegende Zahl dieser Grenzwerte für die Vermehrung von Mikroorganismen basiert auf Untersuchungen mit künstlichen Nährmedien, die auf eine bestimmte Wasseraktivität oder auf eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration eingestellt oder bei einer bestimmten Temperatur gelagert wurden. Dennoch bedient man sich der labormäßig ermittelten Grenzwerte zur Beurteilung eines Lebensmittels hinsichtlich der Vermehrungsmöglichkeit von Verderbnis oder Lebensmittelvergiftung hervorrufoenden Mikroorganismen im oder auf dem Lebensmittel. Obwohl in der Mehrzahl der Fälle der Beweis fehlt, daß mit Sicherheit die auf künstlichen Nährmedien ermittelten Wachstumsgrenzwerte für den a_w -Wert, den pH-Wert oder die Temperatur auf die Verhältnisse von Fleisch oder von Fleischerzeugnissen übertragbar sind, wurde bereits anhand der Kriterien a_w -Wert und pH-Wert eine Einschätzung der mikrobiologischen Stabilität von Rohwurst vorgenommen (LEISTNER und RÖDEL, 1974; RÖDEL, 1975). RÖDEL (1975) schlägt unter dem Hinweis, daß eine mikrobiologische Überprüfung seiner Konzeption nicht vorgenommen und daher ein Sicherheitsfaktor einkalkuliert wurde, ein Schema zur Einstufung von Fleischerzeugnissen in leicht verderbliche, verderbliche und lagerfähige Produkte aufgrund des pH-Wertes und a_w -Wertes vor. Auf der Basis dieses Schemas wird in der Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1976 zur Regelung gesundheitlicher Fragen beim innergemeinschaftlichen Handelverkehr mit Fleischerzeugnissen (Richtlinie Fleischerzeugnisse) ein Fleischerzeugnis als vollständig haltbar gemacht definiert, wenn durch eine andere Behandlung als Erhitzen in einem luftdicht verschlossenen Behältnis der a_w -Wert 0,95 oder weniger und der pH-Wert 5,2 oder weniger oder der a_w -Wert 0,91 oder weniger oder der pH-Wert weniger als 4,5 beträgt. Bei dem Vergleich der ermittelten Werte der unbehandelten und behandelten Fleischoberfläche mit den Zahlen des Schemas zur Einstufung von Haltbarkeitsgruppen von Fleischerzeugnissen (RÖDEL, 1975) ergibt sich, daß nach a_w -Wert und pH-Wert der Fleischoberfläche von

Schlacht tierkörpern während der fünftägigen Lagerung im Kühlraum die Fleischoberfläche als "leicht verderblich" einzustufen wäre.

Bei isolierter Betrachtung der Oberfläche der Fleischproben im Modellversuch würden nach den Mittelwerten der Wasseraktivität die Schwarte und die "Faszie über Fett" in der zweiten Hälfte der Lagerungszeit im Klimaprüfschrank mit den lagerfähigen Fleischerzeugnissen vergleichbar sein. Bei der isolierten Betrachtung der behandelten Oberfläche der Fleischproben wären nach den Mittelwerten der Wasseraktivität und der Wasserstoffionenkonzentration die Schwarte, die "Faszie über Fett", die "Faszie über Muskulatur" und die "unversehrte Muskulatur" in der zweiten Hälfte der Lagerungszeit im Klimaprüfschrank mit den lagerfähigen Fleischerzeugnissen vergleichbar. Nach dem Einstufungsschema (RÖDEL, 1975) käme der Schnittfläche der Muskulatur anhand der mittleren pH-Werte das Urteil "verderblich" während der gesamten Lagerungszeit im Klimaprüfschrank zu. Diese Überlegungen sind als theoretische Interpretation zu verstehen insofern, als trotz technischer Möglichkeiten keine Kongruenz der klimatischen Bedingungen bei der praktischen Fleischkühl Lagerung mit den klimatischen Bedingungen im beschriebenen Modell besteht.

Unter der Voraussetzung der Übertragbarkeit der Ergebnisse der Modellversuche auf praktische Verhältnisse ist von der Vermeidung eines Feuchtigkeitsfeldes an den Schlacht tierkörpern durch die Einhaltung der empfohlenen Luftgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,3 m/sec eine Unterstützung der Oberflächentemperatur bei der Sicherung der Lagerfähigkeit von frischem Fleisch durch den a_w -Wert eines Teiles der Fleischoberfläche zu erwarten. - Negative Erfahrungen liegen insofern vor, als Wasserdampfkondensation auf der Oberfläche eine beträchtliche Ursache für schnelleren Verderb (Schmierigsein) darstellt. Mikroorganismen erhalten durch den Anstieg der Wasseraktivität auf der Oberfläche bessere Entwicklungsmöglichkeiten (WIRTH, 1974). - Von der Behandlung der Fleischoberfläche mit der vorgeschlagenen Lösung wird eine deutlichere Unterstützung der Oberflächentemperatur bei der Sicherung der Lagerfähigkeit von frischem Fleisch durch den a_w -Wert und den pH-Wert erwartet.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es ist möglich, die Wasseraktivität (a_w -Wert) der Fleischoberfläche zu messen. Hierzu wird eine Methode vorgeschlagen, mit der bei Aufrechterhaltung des Austausches von Wassermolekülen zwischen der Oberfläche des Fleisches und der umgebenden Luft, entsprechend dem vorliegenden Wasserdampfdruck-Gefälle, der a_w -Wert der Fleischoberfläche bestimmt wird. Zwar ist die beschriebene Methode kaum für routinemäßige Messungen der Oberflächen-Wasseraktivität geeignet, von einem auf dem vorgestellten Meßverfahren basierenden, im Bau befindlichen Prototyp wird aber eine leichtere Handhabung der Bestimmung des a_w -Wertes der Fleischoberfläche erwartet.

Entsprechend der Vielfältigkeit der Oberflächengewebearten liegen unterschiedliche a_w -Werte an der Schlachttierkörperoberfläche vor. Während der eigentlichen Abkühlungsphase der Schlachttierkörper wird die Oberflächen-Wasseraktivität bei den Oberflächengewebearten "unversehrte Muskulatur", "Faszie über Muskulatur" und "Faszie über Fettgewebe" infolge hoher Wasserdampfdruck-Differenzen zwischen Oberfläche und umgebender Luft abgesenkt.

Diese Oberflächen- a_w -Werte steigen allerdings während der anschließenden Kühllagerung im Schlachthofbereich wieder an. Die Ursache dafür ist, daß aufgrund der Temperaturgleichheit zwischen der Fleischoberfläche und der Kühlraumluft die Wasserdampfdruck-Differenz zwischen der Oberfläche und der Kühlraumluft sehr gering ist und infolge fehlender oder zu geringer Luftbewegung an den Schlachttierkörperoberflächen ein Feuchtigkeitsfeld mit erheblich höheren Feuchtigkeitswerten, als sie im Kühlraum gemessen werden, vorliegt.

Bei Vermeidung des Feuchtigkeitsfeldes an der Fleischoberfläche durch die Aufrechterhaltung einer Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec könnten während der Fleischkühllagerung die bei der Abkühlung erzielten Oberflächen- a_w -Werte weiter erniedrigt werden.

Mit einer wäßrigen Lösung von Kochsalz und Zitronensäure ist es möglich, gleichzeitig den Oberflächen- a_w -Wert sowie den Oberflächen-pH-Wert von Fleischproben abzusenken.

Eine eindeutige Aussage hinsichtlich der Einschränkung des Wachstums von Mikroorganismen auf der Oberfläche von Fleischproben infolge der Absenkung der Oberflächenwasseraktivität durch die Verhinderung eines Feuchtigkeitsfeldes und infolge der gleichzeitigen Absenkung des Oberflächen- a_w -Wertes sowie des Oberflächen-pH-Wertes erscheint noch gewagt, da eine mikrobiologische Absicherung im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt wurde. Dennoch kann von der Einhaltung einer Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec an den Schlachttierkörperoberflächen eine gewisse Unterstützung der konservierenden Wirkung von Kühltemperaturen durch die Reduzierung der Oberflächen-Wasseraktivität erwartet werden. Eine Behandlung der Fleischoberfläche mit einer wäßrigen Lösung von Kochsalz und Zitronensäure unterstützt die konservierende Wirkung von Kühltemperaturen durch die Reduzierung der Oberflächenwasseraktivität und des Oberflächen-pH-Wertes deutlich.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Während die Kühltemperatur und der pH-Wert des Fleisches seit langem beachtet werden und in ihrer Bedeutung für die Haltbarkeit des Fleisches bekannt sind, konnte der a_w -Wert der Fleischoberfläche aufgrund des Fehlens geeigneter Meßmethoden bisher noch nicht ermittelt werden. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit eine Methode zur Ermittlung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleisch erarbeitet. Mit dieser Methode wurden a_w -Werte der Oberfläche von Schlachttierkörpern des Rindes und des Schweines im Kühlraum des Schlachthofes der Stadt Kulmbach gesammelt. Daneben wurden pH-Werte und Temperaturen der Fleischoberfläche gemessen und klimatische Daten des Kühlraumes aufgenommen. Weiterhin wurde der Einfluß von empfohlenen Richtwerten für die Fleischkühlagerung auf die Veränderung des Oberflächen- a_w -Wertes von Fleischproben im Modell geprüft und schließlich ein Versuch zur kombinierten Beeinflussung des a_w - und pH-Wertes der Oberfläche von Fleischproben im Modell unternommen. Es erwies sich als zweckmäßig, die Oberfläche der Schlachttierkörper in folgende Regionen einzuteilen:

- I. Schnittflächen von Muskulatur und Fett (Rind und Schwein)
- II. Unversehrte Muskulatur (Rind)
- III. Faszie über Muskulatur (Rind und Schwein)
- IV. Faszie über Fettgewebe (Rind)
- V. Schwarte (Schwein)

Mit dem Feuchtefühler des Evaporimeters Ep 1 (SERVOMED, Stockholm) und dem Spezialfeuchtefühler (DMP-DEBRUNNER, Zürich) in Verbindung mit dem Hygroskop D (ROTRONIC, Zürich) wurde eine "dynamische" Messung des Oberflächen- a_w -Wertes durchgeführt. Während des Meßvorganges war der Wasserdampf-Austausch zwischen der Fleischoberfläche und der umgebenden Luft entsprechend dem Wasserdampfdruckgefälle gewährleistet, so daß die Oberflächenschicht in ihrem natürlichen Gewebeverband belassen werden konnte. Mittels eines für jeden Fühler typischen Umrechnungsmodus

konnte aus zwei zu ermittelnden Feuchtigkeitswerten auf die Oberflächenwasseraktivität geschlossen werden.

Die a_w -Wert-Messungen im Kühlraum des Kulmbacher Schlachthofes ergaben, daß während der schnellen Abkühlung der untersuchten Schlachttierkörper in stark bewegter Luft im Gefriertemperaturbereich bei den Oberflächenengewebearten "unversehrte Muskulatur", "Faszie über Muskulatur" und "Faszie über Fettgewebe" eine deutliche Abtrocknung und damit a_w -Wert-Absenkung stattgefunden hat.

Aufgrund des Feuchtigkeitsfeldes an den Schlachttierkörpern stiegen die Oberflächen- a_w -Werte aber während der anschließenden Kühllagerung wieder an.

In Modellversuchen in einem Klimaprüfschrank konnte festgestellt werden, daß der Anfangs- a_w -Wert der Oberfläche von Fleischproben bei einer konstanten Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec mit Ausnahme der Schnittfläche von Muskulatur z. T. nicht nur gehalten, sondern weiter abgesenkt wurde. Dabei erreichten im Mittel die Schwarte sowie die "Faszie über Fett" praktisch das Feuchtgleichgewicht mit der Prüfraumlufte.

Die Oberflächen-pH-Werte der Schwarte und der "Faszie über Fett" zeigten stark alkalische Reaktion an.

Durch Besprühen mit einer wäßrigen Lösung von 21,6 % Kochsalz und 11,7 % Zitronensäure konnten der a_w - und pH-Wert der Oberfläche von Fleischproben im Modell gesenkt und über einen Zeitraum von fünf Tagen gehalten werden. Es gelang, den Oberflächen- a_w -Wert der Schnittfläche von Muskulatur zu erniedrigen und während der fünftägigen Lagerung der Fleischproben im Mittel bei 0,965 bis 0,959 zu halten. Die Oberflächen-pH-Werte bewegten sich im Mittel zwischen 4,0 und 5,1.

Zwar wurden eine mikrobiologische Absicherung sowie entsprechende Versuche zur Umsetzung der erzielten Ergebnisse im Modell auf die Verhältnisse der Praxis im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt, von der Einhaltung einer Luftbewegung von 0,1 bis 0,3 m/sec an den Schlachttier-

körperoberflächen ist aber eine Unterstützung der Wirkung der Kühltemperatur durch die Absenkung der Oberflächenwasseraktivität zu erwarten. Von der Behandlung der Fleischoberfläche mit einer wäßrigen Lösung von Kochsalz (21,6 %) und Zitronensäure (11,7 %) kann zudem eine bedeutende Unterstützung der Wirkung der Kühltemperatur und der Luftumwälzung durch die gleichzeitige Absenkung des Oberflächen- a_w - und pH-Wertes angenommen werden.

ABSTRACT: While cooling temperature and pH-value of meat are noticed since long time and are known to be important for stability of meat, a_w -value of the surface of meat could not be considered because of the lack of suitable measuring methods. In this work a method to measure the surface- a_w -value of meat is developed. Using this method, a_w -values of the surface of beef and pork carcasses, stored in the cold room of the slaughter house in Kulmbach, are collected. Beside these, pH and temperature of the meat surface are determined and climatic data of the cold room are recorded. In addition, the influence of the recommended guide values for cold storage of meat on the change of the surface- a_w -values of meat samples are examined in a model. Finally an experiment in connection with the combined influence of the a_w - and pH-values of the surface of meat samples was conducted.

It proved to be useful to divide the surfaces of carcasses into the following regions:

- I. Cut surfaces of musculature and fat (beef and pork)
- II. Uncut musculature (beef)
- III. Fascia around musculature (beef and pork)
- IV. Fascia around fat (beef)
- V. Skin (pork).

"Dynamic" measurement of the surface- a_w -value was made with the moisture probe of the Evaporimeter Ep 1 (SERVOMED, Stockholm) and the special moisture probe (DMP-DEBRUNNER, Zürich) connected with the Hygroskop D (ROTRONIC, Zürich). During the measurement, the water vapor exchange between meat surface and the surrounding air followed the gradient of the partial pressure of water vapor. Consequently surface layer could be retained in its natural state. Measurements were made in two different positions and surface a_w -values were calculated by a mathematical procedure, typical for each probe- a_w measurements in the cold room of the Kulmbach slaughter house revealed, that during the rapid cooling of the investigated carcasses in a strong air flow in the regions of freezing temperatures, a definite

drying and consequently reduction of a_w -values occurred in the case of the surface types uncut musculature, fascia around musculature and fascia around fat.

Because of the moisture fields around the carcasses, surface a_w -values however again rose during the following cold storage.

In modell experiments in climate controlled incubator, it could be determined, that the original a_w -value of the surface of meat samples at a constant air movement of 0.1 - 0.3 m/sec, with the exception of the cut surface of musculature is not only maintained but further reduced. More over the skin and fascia upon fat reached the moisture equilibrium with surrounding air.

Surface pH of skin and fascia around fat showed strong alkaline reaction.

By spraying the surface of meat samples with an aqueous solution of 21.6 % NaCl and 11.7 % citric acid a_w - and pH-values could be reduced and maintained for a period of five days. It was possible to reduce and to maintain the surface a_w of the cut surface of musculature at 0.965 till 0.959 during the five days of storage. Surface pH values varied between 4.0 and 5.1 on the average.

Although microbiological confirmations and practical applications of the experimental results, obtained in this investigation was not done, it can be expected that the maintainance of an air flow of 0.1 - 0.3 m/sec over carcasses will aid the low temperature effect in reducing the surface a_w -value. It can be supposed, that the treatment of meat surfaces with an aqueous solution of 21.6 % NaCl and 11.7 % citric acid can provide an additional aid to the effects of the low temperature and air-movement by the simultaneous reduction of surface a_w and pH values.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Anderson, T. R.
(1960) U. S.-Patent 2,948,623
In: E. Karmas (ed.). Processed Meat Technology. Noyes Data Corporation Park Ridge, New Jersey, London, 1976
- Anderson, T. R.
(1960) U. S.-Patent 2,989,402
In: E. Karmas (ed.). Processed Meat Technology. Noyes Data Corporation Park Ridge, New Jersey, London, 1976
- Ayres, J. C.
(1959) Use of coating materials or film impregnated with Chlortetracycline to enhance color and storage life of fresh beef
Food Technol. 9, 512-515
- Alford, J. A. and
S. A. Palumbo
(1969) Interaction of salt, pH and temperature on the growth and survival of salmonellae in ground pork
Appl. Microbiol. 17, 528-532
- Baird-Parker, A. C. and
B. Freame
(1967) Combined effect of water activity, pH and temperature on the growth of clostridium botulinum from spore and vegetative cell inocula
J. appl. Bacteriol. 30, 420-429
- Bartels, H.
(1968) Die Untersuchung der Schlachttiere und des Fleisches
Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Bartels, H.
(1977) Wirkstoff zum Besprühen der Fleischoberfläche frischer Schlachttierkörper
Fleischwirtschaft 57, 11
- Bartels, H., Klare, H. J.
und P. Wöhner
(1972) Verlängerung des Frischezustandes beim Vertrieb portionierten Rindfleisches
Fleischwirtschaft 52, 816-818

- Bauer, C. O., Neuser, G. L. and H. A. Puskalla U. S.-Patent 3,483,004
In: E. Karmas (ed.). Processed Meat Technology. Noyes Data Corporation Park Ridge, New Jersey, London, 1976
- Belica, J.
(1974) Einfache Ermittlung der Taupunkttemperatur und der Kondenswasserbildung bei Lebensmitteln
Arch. Lebensmittelhyg. 25, 200-202
- Belica, J.
(1976) Taupunkttemperatur, Kondenswasserbildung und Ermittlung des Taupunktes
Fleischwirtschaft 56, 862-865
- Belica, J.
(1976) Luftfeuchtigkeit und Sättigungsdefizit der Luft
Fleischwirtschaft 56, 1115-1118
- Bem, Z., Hechelmann, H. und L. Leistner Mikrobiologie des DFD-Fleisches
Fleischwirtschaft 56, 985-987
(1976)
- Bem, Z. und L. Leistner Bestimmung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren mit der Methode nach Landrock und Proctor
Fleischwirtschaft 50, 1412-1414
(1970)
- Bickhardt, K.
(1972) Pathophysiologische Zusammenhänge zwischen Belastungsreaktion und Fleischqualität
In: Hülsenberger Gespräche 1971 der Schaumannstiftung zur Förderung der Agrarwissenschaften. Verlagsgesellschaft für tierzüchterische Nachrichten mbH Hamburg, 99-106
- Csiszár, V. und G. Biró Hygienische und wirtschaftliche Gesichtspunkte beim Befeuchten und Nichtbefeuchten der Fleischoberfläche
Fleischwirtschaft 47, 125-127
(1967)
- Debrot, S.
(1952) Beobachtung über den pH-Wert bei Fleisch
Schweiz. Arch. Tierheilkd. 94, 587-588

- Fischer, Chr., Scheper, J. und R. Hamm
(1977) Über das Auftreten von wäßrigem, blassem Rindfleisch
Fleischwirtschaft 57, 1826-1828
- Frühwald, O.
(1953) Die moderne Schnellabkühlung des Fleisches
Fleischwirtschaft 5, 9-10
- Frühwald, O.
(1953) Die moderne Schnellabkühlung des Fleisches
Fleischwirtschaft 5, 25-27
- Genigeorgis, C., Foda, M. S., Mantis, A. and W. W. Sadler
(1971) Effect of sodium chloride and pH on enterotoxin C production
Appl. Microbiol. 21, 862-866
- Genigeorgis, C. and W. W. Sadler
(1966) Effect of sodium chloride and pH on enterotoxin B production
J. Bacteriol. 92, 1383-1387
- Gill, C. O. and N. Penney
(1977) Penetration of bacteria into meat
Appl. and Environment. Microbiol. 33, 1284-1286
- Grau, R.
(1960) Fleisch und Fleischwaren
Band 7 der Schriftenreihe 'Grundlagen und Fortschritte der Lebensmitteluntersuchung'. J. Schormüller und H. Melchior (eds.). Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg
- Grau, R. und H. Günther
(1962) Über die beim Reifen von Fleisch und Fleisch-erzeugnissen vorkommenden organischen Säuren und zur Methode ihrer Isolierung und Trennung
Fleischwirtschaft 14, 184-186
- Grieshammer, K.
(1965) Verfahren und Vorrichtung zum Verhindern des Schmierigwerdens der Oberflächen von gekühltem, gelagertem Fleisch
Patentschrift 1190777, Deutsches Patentamt
- Grubbs, F. E. and G. Beck
(1972) Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations
Technometrics 14, 847-854
- Hamm, R.
(1972) Kolloidchemie des Fleisches
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

- Hansen, N. H. und
H. Riemann
(1962) Mikrobiologische Beschaffenheit von vor-
verpacktem Fleisch und vorverpackten Fleisch-
waren
Fleischwirtschaft 14, 861-868
- Harth, E.
(1936) Untersuchungen über die Veränderung des
Fleisches unter verschiedenen Aufbewahrungs-
bedingungen mit besonderer Berücksichtigung
der pH-Zahl
Vet.-med. Diss., Gießen
- Hechelmann, H., Bem, Z.
und R. Albertz
(1974) Vermehrung von Mikroorganismen des Tribus
Klebsiellae bei Temperaturen, pH-Werten
und a_w -Werten, die fleischtechnologisch
von Bedeutung sind
Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleisch-
forschung, Kulmbach, C 35-C 36
- Hechelmann, H. und L. Leistner
(1977) Mikrobiologische Vorgänge beim Kühlen
und Gefrieren von Fleisch und Fleischerzeug-
nissen
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für
Fleischforschung Kulmbach 1977, 3088-3093
- Heinz, G.
(1974) Dunkles leimiges Rindfleisch - Ursachen,
Möglichkeiten der Erkennung und Hinweise
für die Verwertung
Fleischerei 25, 11-14
- Heiss, R.
(1933) Kaltlagerung von Lebensmitteln und Energie-
wirtschaft
Die Wärme, Z. Dampfkessel und Maschinen-
betrieb 56, 72-75
- Heiss, R.
(1938) Verbesserungen beim Schlacht- und Kühlvor-
gang unter besonderer Berücksichtigung
argentinischer Erfahrungen
Z. Fleisch- und Milchhyg. 48, 333-336
- Hess, E. und G. Lott
(1970) Kontamination des Fleisches während und
nach der Schlachtung
Fleischwirtschaft 50, 47-50
- Hicks, E. W.
(1935) The evaporation of water from meat
Report Food Investigation Board for the
year 1935, London, H. M. Stationary Office
19-20

- Hicks, E. W.
(1955) Physikalische Aspekte bei der Kühlung,
beim Gefrieren und bei der Lagerung von
Rindfleisch
Proc. Conf. Beef Export Ind., Brisbane,
48-56
- Hicks, E. W., Scott, W. J.
and J. R. Vickery
(1954) The influence on storage behaviour of
the water content of the superficial tissues
of meat
Communications-papers, Commissions 4 et 5
Madrid, Annexe 1955-1, Supplement au Bull.
de l'Institut International du Froid 177,
Boulevard Malesherbes, Paris, 51-56
- Hicks, E. W., Scott, W. J.
and J. R. Vickery
(1957) Der Einfluß des Wassergehaltes in Oberflächen-
geweben auf die Lagerung von Fleisch
Bull. Int. du Froid 37, 582-587
- Hoagland, R.,
McBryde, C. N. and
W. C. Powick
(1917) Changes in fresh beef during cold storage
above freezing
United States Department of Agriculture,
Bull. 433, Washington, D. C., professional
paper 1-100
- Honickel, K. O.
(1976) Überlegungen und Vorschläge zur Früherken-
nung von PSE- und DFD-Fleisch in Schlacht-
tierkörpern
Fleischwirtschaft 56, 1143-1146
- Honickel, K. O. und R. Hamm
(1974) Über die Ursachen der Abnahme des pH-Wertes
in Fleisch nach dem Schlachten
Fleischwirtschaft 54, 557-560
- Iandolo, J. J.,
Ordal, Z. J. and
L. D. Witter
(1964) The effect of incubation temperature and
controlled pH on the growth of Staphylo-
coccus aureus MF 31 at various concentration
of NaCl
Canad. J. Microbiol. 10, 803-811
- Ingram, M. and R. H. Dainty
(1971) Changes caused by microbes in spoilage of
meats
J. appl. Bacteriol. 34, 21-39

- | | |
|--|---|
| Kaeß , G. und W. Schwartz
(1934) | Untersuchungen über den Einfluß der Luft-
bewegung auf das Wachstum von Schimmel-
pilzen auf gekühltem Fleisch
Arch. Microbiol. <u>5</u> , 443-450 |
| Kaiser, R.
(1974) | Fehler in der Chromatographie
Chromatographia <u>4</u> , 126-128 |
| Karan-Djurdjić, S. und
L. Leistner
(1970) | Messung der Wasseraktivität von Fleisch
und Fleischwaren mit dem Sina-Gerät
Fleischwirtschaft <u>50</u> , 1104-1106 |
| Karmas, E.
(1975) | Moisture retention and surface protection
In: Fresh meat Technology. Noyes Data
Corporation Park Ridge, New Jersey,
London 174-202 |
| Krispien, K. und W. Rödel
(1976) | Bedeutung der Temperatur für den a_w -Wert
von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft <u>56</u> , 709-714 |
| Krispien, K. und W. Rödel
(1978) | Bedeutung der Wasseraktivität von Fetten
tierischer Herkunft
Fleischwirtschaft <u>58</u> , im Druck |
| Krylowa, N. N. und
J. N. Ljaskowskaja
(1972) | Biochemie des Fleisches
VEB Fachbuchverlag Leipzig |
| Kuprianoff, J.
(1952) | Neuere Erkenntnisse über die Veränderungen
von Fleisch beim Kühlen und Gefrieren
Kältetechnik <u>4</u> , 156-165 |
| Landrock, A. H. and
B. E. Proctor
(1951) | A new graphical interpolation method for
obtaining humidity equilibria data, with
special reference to its role in food
packaging studies
J. Food Technol. <u>5</u> , 332-337 |
| Lang, O.
(1968) | Die Kühlung von Fleisch nach dem Schnell-
kühlverfahren
Schlacht- u. Viehhofzeitung <u>68</u> , 141-143 |

- Lang, O.
(1968) Die Luft im Kühlraum
Schlacht- u. Viehhofzeitung 68, 387-390
- Lang, O.
(1968) Die Schnellkühlung von Fleisch-Kühlraum
oder Tunnel
Schlacht- u. Viehhofzeitung 68, 424-426
- Lang, O.
(1974) Neue Überlegungen und Tendenzen beim Bau
von Kühlanlagen für Fleischwaren
Fleischwirtschaft 54, 1587-1588
- Lang, O.
(1976) Fleisch - Schnellkühlen oder nicht?
Fleischerei 27, 33-34
- Lang, O.
(1978) Vermeidung von Gewichtsverlusten beim
Kühlen und Gefrieren von Fleisch
Fleischwirtschaft 58, 402-405
- Leistner, L.
(1977) Hurdle effect and energy saving
COST-Seminar, held in Dublin, Irland,
November 22-25, 1977
- Leistner, L., Herzog, H.
und H. Linke
(1971) Wasseraktivität verschiedener Muskeln von
Rind und Schwein
Fleischwirtschaft 51, 578-579
- Leistner, L. und W. Rödel
(1974) Die Wasseraktivität (a_w -Wert) als Kriterium
für die Beurteilung von Rohwurst
Fleischwirtschaft 54, 1039-1040
- Leistner, L. und W. Rödel
(1975) Die Wasseraktivität bei Fleisch und Fleisch-
waren
Dtsch. Z. Lebensmitteltechnol. 26, 169-176
- Leistner, L. and W. Rödel
(1976) The stability of intermediate moisture foods
with respect to microorganisms
In: R. Davies, Birch, G. G. and K. J.
Parker (eds.). Intermediate Moisture Foods.
Appl. Sci. Publishers Ltd., London 120-137
- Leistner, L. and W. Rödel
(1978) Microbiology of intermediate moisture foods
Internat. Meeting on Food Microbiology and
Technology, Parma, Italien, April 20-23, 1978

- Leistner, L. und F. Wirth
(1972) Bedeutung und Messung der Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und Fleischwaren
Fleischwirtschaft 52, 1335-1337
- Linge, K.
(1929) Der Dampfdruck über wäßrigen Lösungen von Chlornatrium, Chlormagnesium und Chlorcalcium
Z. ges. Kälte-Ind. 36, 189-193
- Linke, H.
(1976) Topographie des DFD-Fleisches
Fleischwirtschaft 56, 973-975
- Linke, H. und G. Heinz
(1972) Qualitätsabweichung bei Schweinefleisch - Topographie der Farbaufhellung bei wäßrigem, blassem Fleisch
Fleischwirtschaft 52, 208-212
- Loeser, E.
(1935) Über die Haltbarkeit von Fleisch in gewerblichen Kühlräumen
Dtsch. Schlachthofztg. 35, 1-19
- Marland, R. E.
(1967) The effects of several environmental factors on the growth and enterotoxigenicity of strain S-6 Staphylococcus aureus
Hlth. Sci. 3165 B - 3166 B
- Matches, J. R. and J. Liston
(1972) Effects of incubation temperature on the salt tolerance of salmonella
J. Milk Food Technol. 35, 39-43
- McLean, R. A., Lilly, H. D. and J. A. Alford
(1968) Effects of meat-curing salts and temperature on production of staphylococcal enterotoxin B
J. Bacteriol. 95, 1207-1211
- Mossel, D. A. A.
(1977) Microbiology of foods and dairy products - occurrence, prevention and monitoring of hazards and deterioration
The University of Utrecht, Faculty of Veterinary Medicine, Eigen-Verlag
- Nilsson, G., Oberg, A. et G. Sedin
(1975) Capteur servant à évoluer l'évaporation cutanée
Transactions III Nordic Meeting on Medical and Biological Engineering, Tampere, Finland 71-77

- Nilsson, G., Oberg, A.,
Lamke, L. O. and
L. Reithner
(1976) On the measurement of water loss from skin
and surgical wounds
Digest papers; 11th Int. Conf. Med. Biol.
Engineering, Ottawa, Canada 598-599
- Nilsson, G. E.
(1977) Measurement of water exchange through skin
PROOF Medical & Biological Engineering &
Computing, Int. Federation for Medical &
Biological Engineering, I-2-I-11
- Northolt, M. D.
(1973) Onderzoekingen naar de wateractiviteit van
vleeswaren met behulp van een dauwpuntmeter
Voedingsmiddelentechnologie 4, 118-121
- Ohye, D. F. and
J. H. B. Christian
(1966) Combined effects of temperature, pH and
water activity on growth and toxin production
by Cl. botulinum types A, B and E
Int. Symp. Food Microbiol. 217-223
- Ohye, D. F.,
Christian, J. H. B.
and W. J. Scott
(1966) Influence of temperature on the water re-
lations of growth of Cl. botulinum type E
Int. Symp. Food Microbiol. 136-143
- Peterson, A. C., Black, J. J.
and M. F. Gunderson
(1964) Staphylococci in competetion. III. Influence
of pH and salt on staphylococcal growth in
mixed populations
Appl. Microbiol. 12, 70-76
- Rey, C. R., Kraft, A. A.,
Topel, D. G., Parrish jr.
F. C. and D. K. Hotchkiss
(1976) Microbiology of pale, dark and normal pork
J. Food Sci. 41, 111-116
- Robinson, R. A. and
D. A. Sinclair
(1934) The activity coefficients of the alkali
chlorides and of lithium iodide in aqueous
solutions from vapour pressure measurements
J. Am. Chem. Soc. 56, 1830-1855
- Robinson, R. A. and
R. H. Stokes
(1959) Electrolyte Solutions
Butterworth, London

- Rödel, W.
(1973) Messung der Wasseraktivität unter Praxisbedingungen
Fleischwirtschaft 53, 27-31
- Rödel, W.
(1975) Einstufung von Fleischerzeugnissen in leicht verderbliche, verderbliche und lagerfähige Produkte aufgrund des pH-Wertes und a_w -Wertes
Vet.-med. Diss., FU Berlin
- Rödel, W.
(1975) Feststellung und Bedeutung des a_w -Wertes von Rohwurst für die Lebensmittelüberwachung
Fleischwirtschaft 55, 498-499
- Rödel, W. und L. Leistner
(1971) Ein einfacher a_w -Wert-Messer für die Praxis
Fleischwirtschaft 51, 1800-1802
- Rödel, W. und L. Leistner
(1972) Messung der Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und Fleischwaren mit einem Taupunkt-Hygrometer
Fleischwirtschaft 52, 1461-1462
- Rödel, W. und K. Krispien
(1977) Der Einfluß von Kühl- und Gefriertemperaturen auf die Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft 57, 1863-1867
- Rödel, W., Ponert, H. und L. Leistner
(1975) Verbesserter a_w -Wert-Messer zur Bestimmung der Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und Fleischwaren
Fleischwirtschaft 55, 557-558
- Rödel, W., Krispien, K. und L. Leistner
(1978) Messung der Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Vortrag anl. 24. Europ. Fleischforscher-Kongreß in Kulmbach, 4.-8. Sept. 1978, im Druck
- Saacke, H. R.
(1967) Schnellabkühlung von Fleisch und Gewichtsverluste in Schlachthöfen
Kältetechnik-Klimatisierung 19, 136-138
- Scheide, J.
(1972) U. S.-Patent 3,667,970
In: E. Karmas (ed.). Processed Meat Technology, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, London 1976

- Scheper, J.
(1972) Qualitätsabweichung bei Schweinefleisch - genetische und umweltbedingte Einflüsse
Fleischwirtschaft 52, 203-206
- Scheper, J.
(1974) Merkmale der Fleischbeschaffenheit
Fleischwirtschaft 54, 1934-1938
- Scheper, J.
(1975) Die Fleisch- und Fettqualität des Rohstoffes Schwein
Fleischerei 26, 33-36
- Scheper, J.
(1975) Bedeutung des Saffthaltevermögens für die Fleischbeschaffenheit beim Schwein
Fleischwirtschaft 55, 1176-1178
- Scheper, J.
(1978) pH-Messung an Schweinehälften - Zeitpunkt, Meßstellen, Aussage
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 1978, 3366-3369
- Scheunert, A. und A. Trautmann
(1965) Lehrbuch der Veterinär-Physiologie
5. Auflage Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Schmid, W.
(1931) Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit auf das Bakterienwachstum auf gekühltem Fleisch
Z. ges. Kälte-Ind. 38, 1-5
- Schmidhofer, T.
(1973) Wie kann das Beschlagen von Fleisch vermieden werden?
Fleischwirtschaft 53, 1182-1183
- Schmidt-Lorenz, W.
(1963) Mikrobieller Verderb gefrorener Lebensmittel während der Gefrierlagerung
Kältetechnik 15, 379-383
- Schwartz, W. und G. Kaeß
(1934) Das Wachstum von Schimmelpilzen auf gekühltem Fleisch bei verschiedenen Luftzuständen
Arch. Microbiol. 5, 157-184
- Schwartz, W. und E. Loeser
(1934) Bakterienwachstum und Verdunstung auf Kühlenfleisch in ruhender und bewegter Luft
Zbl. Bakt. Abt. II 91, 395-406

- Schwartz, W. und W.Schmid
(1931) Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit auf das Bakterienwachstum auf gekühltem Fleisch
Arch. Microbiol. 2, 568-590
- Scott, W. J.
(1936) The growth of micro-organisms on ox muscle
I. The influence of water content of substrate on rate of growth at -1°C
J. Counc. Sci. Ind. Res. 9, 177-190
- Scott, W. J.
(1937) The growth of micro-organisms on ox muscle
II. The influence of temperature
J. Counc. Sci. Ind. Res. 10, 338-350
- Scott, W. J.
(1938) The growth of micro-organisms on ox muscle
III. The influence of 10 percent carbon dioxide on rates of growth at -1°C
J. Counc. Sci. Ind. Res. 11, 266-277
- Scott, W. J.
(1953) Water relations of Staphylococcus aureus at 30°C
Austral. J. biol. Sci. 6, 549-564
- Scott, W. J.
(1955) Kühlfleisch - eine Zusammenfassung der gegenwärtigen Kenntnisse
Proc. Conf. Beef Export Ind., Prisbnane 30-47
- Scott, W. J.
(1957) Water relations of food spoilage micro-organisms
In: E. M. Mrak and G. F. Stewart (eds.).
Advances Food Res. 7, 83-127
- Scott, W. J. and
J. R. Vickery
(1939) Investigation on chilled beef
Part II - Cooling and storage in the meatworks
Counc. Sci. Ind. Res. Bull. 129, 1-70
- Segner, W. P., Schmidt, C. F. und J. K. Boltz
(1966) Effect of sodium chloride and pH on the outgrowth of spores of typ E Clostridium botulinum at optimal and suboptimal temperatures
Appl. Microbiol. 14, 49-54

- Segner, W. P., Schmidt, C. F. and J. K. Boltz
(1971) Minimal growth temperature, sodium chloride tolerance, pH sensitivity, and toxin production of marine and terrestrial strains of Clostridium botulinum typ C
Appl. Microbiol. 22, 1025-1029
- Shaw, B. G.
(1972) The effect of temperature and relative humidity on microbiological keeping quality
In: C. L. Cutting. Meat Chilling - why and how. 2. Symp. Meat Res., Inst., Bristol, England, Oktober 1972
- Stemmler, M. und H. Stemmler
(1972) Verfahren zum Haltbarmachen von frischem Fleisch
Offenlegungsschrift 2220685 Deutsch.Patentamt
- Tamm, W.
(1974) Neue Untersuchungen über die Abkühlung von Schweinen
Fleischwirtschaft 54, 1601-1606
- Tamm, W.
(1976) Konzeption einer Abkühl- und Reifungsanlage für Schlachttiere
Fleischwirtschaft 56, 21-26
- Tarrant, P. V.
(1976) The occurrence of dark-cutting beef
Congress documentation Vol. I. 22nd European Meeting of Meat Res. Workers, Malmö, Schweden, B8:1 - B8:6
- Theireich, G.
(1959) Über die Kühlung von Fleisch frisch geschlachteter Tiere - Feststellung der Gewichtsverluste und Untersuchung des Keimgehaltes der Fleischoberfläche vor und nach der Kühlung
Vet.-med. Diss., München
- Tomčov, D., Bem, Z. und L. Leistner
(1974) Minimale a_w vrednosti odabranik bakterijskih vrsta
RIM 6/4, 3-9
- Tuchschnid-Emblík
(1959) Die Kältebehandlung schnellverderblicher Lebensmittel
15. Aufl. Verlag Brücke Kurt Schmiersow, Hannover

- Vrchlabský, J. und L. Leistner (1970) Beziehung zwischen Wasseraktivität und Wasserbindung von Rind- und Schweinefleisch Fleischwirtschaft 50, 967-968
- Wagner, W. und G. K. Steiner (1936) Untersuchungen über die Haltbarkeit von Fleisch im Schlachthof Karlsruhe Dtsch. Schlachthof-Ztg. 36, 1-3
- Walter, H. (1926) Die Wassersättigung der Pflanze und ihre Bedeutung für das Pflanzenwachstum Z. Pflanzenernährung u. Düngung A 6, 65-88
- Watt, D. B. und H. K. Herring (1974) Rapid chilling of beef carcasses utilizing ammonia and cryogenic systems: effects on shrink and tenderness J. Animal Sci. 38, 928-934
- Williams, B. E. (1964) Method of treating edible animal carcasses U.S.-Patent 3,124,467
- Wirth, F. (1972) Qualitätsabweichungen bei Schweinefleisch - Konsequenzen für die Verarbeitung von wäßrigem blassem Schweinefleisch Fleischwirtschaft 52, 212-216
- Wirth, F. (1974) Das Beschlagen von Fleisch - Ursachen verminderter Haltbarkeit Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 1974, 2075-2076
- Wirth, F., Leistner, L. und W. Rödel (1975) Physikalische Richtwerte für die Fleischtechnologie - I. Mitteilung Frischfleisch, Gefrierfleisch, Brühwurst Fleischwirtschaft 55, 1188-1196
- Wirth, F., Leistner, L. und W. Rödel (1976) Richtwerte der Fleischtechnologie Verlagshaus Sponholz, Frankfurt/Main
- Wodzinski, R. J. and W. C. Frazier (1960) Moisture requirements of bacteria I. Influence of temperature and pH on requirements of *Pseudomonas fluorescens* J. Bacteriol. 79, 572-578

Wodzinski, R. J. and
W. C. Frazier
(1961)

Moisture requirements of bacteria
II. Influence of temperature, pH and malate
concentration on requirements of *Aerobacter*
aerogenes

J. Bacteriol. 81, 353-358

Wodzinski, R. J. and
W. C. Frazier
(1961)

Moisture requirements of bacteria
III. Influence of temperature, pH and malate
and thiamine concentration on requirements
of *Lactobacillus viridescens*

J. Bacteriol. 81, 359-365

.-.

Physikalisch-chemische Tabellen

(1931)

Landolt-Börnstein (ed.). II. Teil, Verlag
Julius Springer, Berlin

.-.

Gesetz zur Neuordnung und Bereinigung des
Rechtes im Verkehr mit Lebensmitteln,
Tabakerzeugnissen, kosmetischen Mitteln
und sonstigen Bedarfsgegenständen vom
15. 8. 1974 (LMBG)

Bundesgesetzblatt I, 1974, 1945

.-.

Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1976
zur Regelung gesundheitlicher Fragen beim
innergemeinschaftlichen Handelsverkehr mit
Fleischerzeugnissen (Richtlinie Fleisch-
erzeugnisse)

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
Nr. L26 vom 31. 1. 1977, S. 85

8. ANHANG

Im Anhang sind die Ursprungsdaten zu Tabellen 8, 11, 13 sowie 15 vorgestellt. Die Zeilen in den Tabellen des Anhangteiles stellen keine korrespondierenden Zahlen dar. Die Gründe hierfür wurden in 3.2.1 bzw. 3.2.2 dargelegt.

Die ungleiche Anzahl von Werten ist zusätzlich bedingt durch technische Ausfälle der Feuchtigkeitsmeßsensoren. Kondensationen der Meßzellen traten sowohl im Kühlraum als auch während der ersten Hälfte der Modellversuche (Tabellen 22 bis 26) im Klimaprüfschrank auf und machten die Feuchtigkeits-sensoren bis zu ihrer Regenerierung über chemische Trockner unbrauchbar. Ursache für die Kondensation (Übersättigung der Meßzellen) im Kühlraum waren kurzfristige Temperaturschwankungen an der Meßstelle.

Die Übersättigung der Meßzellen im Klimaprüfschrank resultierte aus dem kurzfristigen Überschießen der Luftfeuchtigkeit im Prüfraum des Klimaprüfschrankes, dessen Klima durch die zu untersuchenden Fleischproben als zusätzliche Feuchtigkeitsquellen belastet wurde.

Das Überschießen der relativen Luftfeuchtigkeit im Prüfraum und die damit verbundene Übersättigung der Meßzellen konnte durch eine aufwendige Klimasteuerung des Prüfraumes unter Zuhilfenahme einer Silica-Gel-Trocknungseinrichtung unterbunden werden, so daß in der zweiten Hälfte der Modellversuche (Tabellen 27 bis 31) Meßausfälle vermieden wurden.

Tabelle 17: a_w -Werte der Oberflächengewebeart "angeschnittene Muskulatur" (Rind und Schwein) von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach (Ursprungsdaten zu Tabelle 11, S. 57)

Zeitraum nach Schlachtung und Schnellst-abkühlung	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,976	0,983	0,980	0,983	0,983
	0,978	0,985	0,980	0,985	0,984
	0,979	0,987	0,985	0,989	0,985
	0,980	0,989	0,986	0,990	0,987
	0,980	0,989	0,987	0,990	0,989
	0,982	0,990	0,989	0,992	0,990
	0,985	0,990	0,990	0,993	0,990
	0,986	0,990	0,992	0,994	0,991
	0,987	0,993	0,992	0,995	0,992
	0,989	0,993	0,993	0,995	0,994
	0,989	0,994	0,995	0,995	0,995
	0,990	0,995	0,995	0,997	0,996
	0,992	0,995	0,997		0,997
	0,995	0,997			

Tabelle 18: a_w Werte der Oberflächengewebeart "unversehrte Muskulatur" (Rind) von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach (Ursprungsdaten zu Tabelle 11, S. 57)

Zeitraum nach Schlachtung und Schnellst-abkühlung	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,933	0,943	0,951	0,947	0,944
	0,935	0,945	0,954	0,947	0,947
	0,941	0,948	0,954	0,948	0,952
	0,945	0,948	0,955	0,948	0,958
	0,945	0,949	0,957	0,957	0,958
	0,946	0,962	0,959	0,959	0,960
	0,947	0,962	0,960	0,961	0,960
	0,949	0,964	0,961	0,963	0,963
	0,957	0,964	0,962	0,965	0,965
	0,957	0,965	0,963	0,966	0,968
	0,958	0,968	0,964	0,967	0,969
	0,959	0,968	0,965	0,968	0,969
	0,959	0,968	0,970	0,972	0,970
	0,959	0,973	0,973	0,972	0,970
	0,960	0,974	0,979	0,973	0,970
	0,961	0,976	0,984	0,975	0,971
	0,967	0,976	0,984	0,976	0,973
	0,968	0,977	0,991	0,976	0,974
	0,969	0,981	0,993	0,976	0,975
	0,970	0,982	0,994	0,978	0,975
	0,975	0,985	0,994	0,980	0,978
	0,975	0,988		0,983	0,981
	0,983	0,989		0,984	0,982
	0,983	0,995		0,984	0,987
	0,987			0,987	0,989
				0,989	0,995
				0,990	0,995
				0,995	0,997

Tabelle 19: a_w -Werte der Oberflächengewebeart "Faszie über Muskulatur" (Rind und Schwein) von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach (Ursprungsdaten zu Tabelle 11, S. 57)

Zeitraum nach Schlachtung und Schnellst-abkühlung	1.Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,905	0,944	0,932	0,946	0,966
	0,907	0,946	0,933	0,949	0,967
	0,917	0,946	0,936	0,954	0,967
	0,919	0,949	0,947	0,964	0,968
	0,919	0,950	0,951	0,965	0,970
	0,925	0,950	0,956	0,967	0,970
	0,928	0,956	0,958	0,968	0,971
	0,929	0,957	0,959	0,970	0,971
	0,933	0,958	0,959	0,970	0,973
	0,935	0,960	0,960	0,970	0,974
	0,936	0,960	0,962	0,970	0,975
	0,936	0,960	0,966	0,972	0,976
	0,937	0,961	0,967	0,973	0,978
	0,944	0,963	0,968	0,973	0,978
	0,945	0,964	0,969	0,973	0,979
	0,948	0,967	0,970	0,974	0,981
	0,949	0,969	0,970	0,974	0,981
	0,953	0,970	0,972	0,975	0,982
	0,954	0,970	0,974	0,977	0,986
	0,955	0,971	0,976	0,977	0,987
	0,956	0,971	0,976	0,978	0,989
	0,957	0,973		0,979	
	0,959	0,974		0,982	
	0,963	0,975		0,983	
	0,964	0,977		0,995	
	0,965	0,983		0,998	
	0,966	0,986			
	0,967	0,994			

Tabelle 20: a_w -Werte der Oberflächengewebeart "Faszie über Fett"
(Rind) von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters
im Kühlraum des Schlachthofes Kulmbach
(Ursprungsdaten zu Tabelle 11, S. 57)

Zeitraum nach Schlachtung und Schnellst- abkühlung	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,904	0,937	0,900	0,917	0,910
	0,905	0,938	0,904	0,917	0,910
	0,922	0,940	0,906	0,918	0,935
	0,924	0,941	0,908	0,922	0,938
	0,936	0,942	0,915	0,926	0,940
	0,936	0,942	0,917	0,927	0,941
	0,940	0,943	0,918	0,928	0,943
	0,940	0,948	0,935	0,930	0,944
	0,941	0,950	0,939	0,934	0,950
	0,941	0,951	0,941	0,938	0,952
	0,944	0,954	0,945	0,962	0,954
	0,945	0,954	0,951	0,962	0,955
	0,947	0,955	0,958	0,965	0,955
	0,950	0,956	0,968	0,970	0,957
	0,951	0,957	0,973	0,974	0,973
	0,952	0,957	0,973	0,977	0,979
	0,957	0,958	0,974	0,986	0,980
	0,960	0,958	0,976	0,990	0,982
	0,963	0,959	0,977	0,990	0,985
	0,963	0,960	0,980	0,991	0,986
	0,963	0,961	0,981	0,994	0,995
	0,963	0,961	0,982		
	0,966	0,962	0,988		
	0,966	0,964	0,991		
	0,966	0,970	0,995		
	0,967	0,976			
	0,973	0,985			
	0,974	0,995			

Tabelle 21: a_w -Werte der Oberflächengewebeart "Schwarte" (Schwein)
von Schlachttierkörpern verschiedenen Alters im Kühlraum
des Schlachthofes Kulmbach
(Ursprungsdaten zu Tabelle 11, S. 57)

Zeitraum nach Schlachtung und Schnellst- abkühlung	1. Tag		2. Tag		3. Tag
	0,958	0,975	0,962	0,977	0,964
	0,961	0,975	0,963	0,978	0,965
	0,962	0,976	0,966	0,978	0,965
	0,965	0,976	0,966	0,978	0,969
	0,967	0,979	0,967	0,978	0,972
	0,968	0,979	0,970	0,979	0,974
	0,969	0,979	0,973	0,979	0,976
	0,970	0,980	0,973	0,980	0,979
	0,970	0,981	0,974	0,980	0,979
	0,971	0,983	0,975	0,980	0,980
	0,971	0,984	0,975	0,981	0,980
	0,974	0,993	0,975	0,982	0,981
	0,974	0,993	0,975	0,982	0,983
	0,974	0,995	0,976	0,982	0,983
	0,974	0,995	0,976	0,982	0,984
			0,976	0,984	0,985
			0,976	0,984	0,986
			0,976	0,988	0,986
			0,977	0,992	0,987
			0,977	0,992	0,990
					0,992

Tabelle 22: Veränderung der a_w -Werte von Proben der Oberflächen-
gewebeart "angeschnittene Muskulatur" (Rind und Schwein)
während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im
Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 13, S. 62)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,934	0,953	0,907	0,960	0,941
	0,949	0,957	0,955	0,972	0,954
	0,970	0,965	0,962	0,977	0,958
	0,975	0,968	0,972	0,984	0,958
	0,976	0,974	0,977	0,985	0,972
	0,980	0,980	0,985	0,989	0,975
	0,983	0,984	0,988	0,993	0,975
	0,983	0,994	1,004	0,995	0,977
	0,993	1,001	1,005	1,002	0,978
	0,998	1,013	1,012	1,005	0,982
	1,002	1,019	1,024	1,017	0,983
	1,010		1,045		0,984
					0,987
					0,994
					1,000
					1,000
					1,003

Tabelle 23: Veränderung der a_w -Werte von Proben der Oberflächengewebeart "unversehrte Muskulatur" (Rind) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank (Ursprungsdaten zu Tabelle 13, S. 62)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,914	0,916	0,926	0,913	0,919
	0,928	0,929	0,930	0,931	0,936
	0,940	0,943	0,944	0,952	0,937
	0,941	0,945	0,946	0,953	0,941
	0,942	0,946	0,963	0,958	0,951
	0,948	0,950	0,971	0,967	0,951
	0,951	0,957	0,973	0,968	0,957
	0,965	0,974	0,974	0,973	0,957
	0,968	0,984	0,977	0,981	0,959
	0,970	0,995	0,979	0,986	0,960
	0,979		0,991		0,963
	0,980				0,964
	0,982				0,968
	0,983				0,974
	0,988				0,981
					0,983
					0,987

Tabelle 24: Veränderung der a_w -Werte von Proben der Oberflächengewebeart "Faszie über Muskulatur" (Rind und Schwein) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank (Ursprungsdaten zu Tabelle 13, S. 62)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5.Tag
	0,904	0,924	0,898	0,873	0,878
	0,935	0,926	0,899	0,886	0,881
	0,936	0,928	0,908	0,904	0,894
	0,942	0,935	0,917	0,917	0,899
	0,945	0,936	0,917	0,924	0,910
	0,948	0,938	0,928	0,933	0,912
	0,966	0,940	0,930	0,937	0,912
	0,967	0,942	0,930	0,940	0,935
	0,970	0,947	0,936	0,945	0,943
	0,971	0,949	0,941	0,974	0,951
	0,972		0,945	0,980	0,966
	0,975		0,949		
	0,978		0,957		
			0,962		
			0,964		
			0,972		
			0,975		

Tabelle 25: Veränderung der α -Werte von Proben der Oberflächengewebeart "Faszie über Fett" (Rind) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank (Ursprungsdaten zu Tabelle 13, S. 62)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,928	0,892	0,875	0,879	0,871
	0,931	0,895	0,892	0,895	0,878
	0,932	0,896	0,898	0,895	0,879
	0,934	0,903	0,899	0,897	0,892
	0,943	0,913	0,908	0,911	0,897
	0,943	0,916	0,914	0,913	0,898
	0,946	0,923	0,919	0,919	0,899
	0,948	0,923	0,920	0,921	0,901
	0,957	0,923	0,924	0,926	0,919
	0,968	0,929	0,929	0,931	0,947
	0,971	0,929	0,931	0,932	0,967
	0,972	0,934	0,936		
	0,981	0,935			
		0,936			
		0,938			
		0,940			
		0,941			

Tabelle 26: Veränderung der α -Werte von Proben der Oberflächengewebeart "Schwarte" (Schwein) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 13, S. 62)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,975	0,897*	0,885	0,864	0,841
	0,976	0,936	0,885	0,871	0,851
	0,977	0,940	0,902	0,874	0,856
	0,977	0,943	0,904	0,880	0,887
	0,978	0,944	0,912	0,884	0,896
	0,980	0,947	0,921	0,888	0,905
	0,981	0,948	0,947	0,889	0,905
	0,982	0,954	0,950	0,893	0,906
	0,983	0,956	0,956	0,895	0,913
	0,984	0,959	0,980	0,903	0,896
		0,960	0,921	0,906	
		0,955		0,908	
		0,965		0,921	
		0,970		0,930	
				0,932	
				0,934	

* Der gekennzeichnete Wert wurde als Ausreißer ermittelt

Tabelle 27: a_w -Werte der behandelten Oberfläche von Proben der
Oberflächengewebeart "angeschnittene Muskulatur" (Rind
und Schwein) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes
im Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 15, S. 68)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,869*	0,876*	0,866*	0,874*	0,871*
	0,928	0,910	0,904	0,925	0,923
	0,930	0,928	0,922	0,927	0,926
	0,944	0,941	0,939	0,948	0,944
	0,951	0,946	0,947	0,948	0,944
	0,953	0,948	0,949	0,950	0,946
	0,961	0,950	0,950	0,956	0,953
	0,964	0,951	0,953	0,958	0,954
	0,966	0,953	0,954	0,959	0,957
	0,967	0,959	0,965	0,960	0,958
	0,971	0,962	0,968	0,970	0,960
	0,974	0,963	0,969	0,971	0,971
	0,975	0,966	0,970	0,971	0,973
	0,975	0,973	0,977	0,976	0,976
	0,981	0,979	0,983	0,976	0,978
	0,982	0,981	0,984	0,976	0,979
	0,987	0,985	0,987	0,982	0,981
	1,002	0,986	0,989	0,989	0,983

* Die gekennzeichneten Werte wurden als Ausreißer ermittelt

Tabelle 28: a_w -Wert der behandelten Oberfläche von Proben der Oberflächengewebeart "unversehrte Muskulatur" (Rind) während des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank (Ursprungsdaten zu Tabelle 15, S. 68)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,886	0,890	0,865	0,874	0,869
	0,914	0,891	0,866	0,877	0,879
	0,927	0,927	0,909	0,911	0,880
	0,941	0,933	0,919	0,916	0,888
	0,946	0,940	0,922	0,923	0,895
	0,946	0,942	0,925	0,926	0,897
	0,951	0,943	0,938	0,933	0,922
	0,952	0,950	0,940	0,940	0,926
	0,956	0,952	0,945	0,946	0,935
	0,959	0,955	0,946	0,948	0,941
	0,960	0,956	0,948	0,953	0,946
	0,963	0,957	0,951	0,953	0,947
	0,964	0,959	0,954	0,958	0,947
	0,965	0,964	0,955	0,960	0,950
	0,966	0,968	0,960	0,961	0,956
	0,969	0,973	0,961	0,971	0,963
	0,984	0,975	0,969	0,976	0,968
	0,987	0,990	0,972	0,984	0,975

Tabelle 29: a_w -Wert der behandelten Oberfläche von Proben der Oberflächen-
gewebeart "Faszie über Muskulatur" (Rind und Schwein) während
des fünftägigen Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 15, S. 68)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,884	0,845	0,859	0,874	0,869
	0,890	0,881	0,861	0,875	0,874
	0,920	0,882	0,900	0,904	0,899
	0,922	0,883	0,905	0,907	0,903
	0,922	0,894	0,913	0,914	0,908
	0,932	0,906	0,914	0,920	0,917
	0,934	0,921	0,926	0,926	0,918
	0,935	0,922	0,934	0,936	0,918
	0,938	0,943	0,938	0,944	0,934
	0,944	0,949	0,942	0,946	0,936
	0,946	0,954	0,943	0,950	0,937
	0,955	0,954	0,943	0,951	0,938
	0,958	0,962	0,945	0,952	0,945
	0,961	0,963	0,948	0,954	0,949
	0,963	0,968	0,951	0,956	0,956
	0,964	0,975	0,951	0,961	0,961
	0,970	0,980	0,959	0,967	0,965
	0,993	0,985	0,959	0,975	0,973

Tabelle 30: a_w -Wert der behandelten Oberfläche von Proben der Oberflächen-
gewebeart "Faszie über Fett" (Rind) während des fünftägigen
Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 15, S. 68)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,869*	0,868	0,854	0,849*	0,861
	0,927	0,884	0,858	0,892	0,888
	0,935	0,919	0,906	0,911	0,912
	0,940	0,922	0,910	0,912	0,913
	0,941	0,925	0,913	0,924	0,915
	0,945	0,929	0,914	0,924	0,915
	0,947	0,931	0,922	0,925	0,921
	0,949	0,935	0,924	0,928	0,927
	0,951	0,936	0,927	0,930	0,930
	0,951	0,937	0,930	0,935	0,931
	0,954	0,945	0,933	0,935	0,932
	0,957	0,945	0,937	0,942	0,934
	0,958	0,954	0,939	0,945	0,943
	0,962	0,955	0,944	0,951	0,946
	0,965	0,958	0,950	0,954	0,951
	0,968	0,963	0,952	0,959	0,956
	0,972	0,965	0,960	0,960	0,959
	0,983	0,967	0,964	0,965	0,961

* Die gekennzeichneten Werte wurden als Ausreißer ermittelt

Tabelle 31: a_w -Wert der behandelten Oberfläche von Proben der Oberflächen-
gewebeart "Schwarte" (Schwein) während des fünftägigen
Beobachtungszeitraumes im Klimaprüfschrank
(Ursprungsdaten zu Tabelle 15, S. 68)

Beobachtungs- zeitraum	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
	0,876	0,868	0,854	0,827*	0,829
	0,912	0,894	0,873	0,881	0,859
	0,920	0,910	0,901	0,882	0,882
	0,931	0,924	0,909	0,895	0,885
	0,941	0,928	0,914	0,902	0,888
	0,943	0,931	0,919	0,906	0,890
	0,944	0,935	0,920	0,907	0,894
	0,946	0,939	0,922	0,911	0,902
	0,952	0,940	0,923	0,915	0,903
	0,952	0,940	0,926	0,917	0,908
	0,953	0,944	0,930	0,919	0,912
	0,953	0,946	0,933	0,925	0,917
	0,955	0,946	0,935	0,926	0,921
	0,957	0,947	0,938	0,926	0,926
	0,959	0,962	0,939	0,934	0,926
	0,959	0,966	0,941	0,940	0,942
	0,982	0,967	0,949	0,944	0,947
	0,995	0,968	0,953	0,945	0,952

* Der gekennzeichnete Wert wurde als Ausreißer ermittelt

Für die Überlassung des Themas bin ich Herrn Leitenden Direktor und Professor Dr. L. Leistner vom Institut für Bakteriologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach dankbar, der mir die Durchführung der Arbeit in seinem Institut ermöglichte und mir mit Rat zur Seite stand.

Nach Abschluß dieser Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. G. Reuter vom Institut für Lebensmittelhygiene, Fleischhygiene und -technologie der Freien Universität Berlin für die Übernahme der Arbeit und die großzügige Unterstützung herzlich danken.

Ferner danke ich Herrn Dr. W. Rödel vom Institut für Bakteriologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach, Herrn Dr.-Ing. H. Weisser vom Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik der Universität Karlsruhe und Herrn Diplomchemiker Dr. G. Hofmann vom Institut für Bakteriologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach für die Bereitschaft, meßtechnische und physikalisch-chemische Probleme zu diskutieren.

Dankenswerterweise fand ich bei statistischen Fragen Hilfe bei Herrn Professor Dr. H. Weiß von der Fachrichtung Biometrie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin.

Weiterhin danke ich der landwirtschaftlich-technischen Assistentin Frau Edith Kintzel, die mir bei der Durchführung der experimentellen Arbeiten behilflich war.

Lebenslauf

Am 15. August 1946 wurde ich als Sohn des Tierarztes Dr. Heinz Krispien und seiner Ehefrau Christine Krispien, geb. Junck, in Hackenheim geboren.

Nach der Volksschulzeit von 1953 bis 1957 besuchte ich den humanistischen Zweig des staatlichen Gymnasiums in Bad Kreuznach. Im unmittelbaren Anschluß an die Reifeprüfung trat ich 1966 den zweijährigen Militärdienst an und hielt durch Übungen während der Semesterferien als Reserveoffizier den Kontakt mit der Bundeswehr aufrecht.

Das Studium der Veterinärmedizin an der Justus Liebig Universität in Gießen schloß ich im Dezember 1973 mit der Tierärztlichen Prüfung ab. Nach einer Assistentenzeit in einer tierärztlichen Praxis war ich ab 1. Oktober 1974 als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei dem Institut für Bakteriologie und Histologie der Bundesanstalt für Fleischforschung in Kulmbach mit der vorliegenden Dissertation beschäftigt.

